

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE BELLAS ARTES

**Departamento de Pintura
(Pintura y Restauración)**



**SISTEMA DE REINTEGRACIÓN CROMÁTICA
ASISTIDO POR MEDIOS TRANSFERIBLES OBTENIDOS
POR PROCEDIMIENTOS FOTOMECAÑICOS :
APLICACIÓN EN LA RESTAURACIÓN DE PINTURA DE
CABALLETEÉRICO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

José Manuel de la Roja de la Roja

Bajo la dirección de la doctora

Margarita San Andrés Moya

Madrid, 2004

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE BELLAS ARTES
DEPARTAMENTO DE PINTURA-RESTAURACIÓN



BIBLIOTECA U.C.M.



5307738255

TESIS DOCTORAL

Título:

**SISTEMA DE REINTEGRACIÓN CROMÁTICA
ASISTIDO POR MEDIOS TRANSFERIBLES
OBTENIDOS POR PROCEDIMIENTOS FOTOMECAÑICOS.
APLICACIÓN EN LA RESTAURACIÓN DE
PINTURA DE CABALLETE**

Memoria
que para optar al grado de
doctor en Bellas Artes
presenta:

JOSÉ MANUEL DE LA ROJA DE LA ROJA

Directora:
MARGARITA SAN ANDRÉS MOYA



Madrid, 1999

DATOS TÉCNICOS DE ESTA TESIS:

Diseño, maquetación, composición e impresión:

Realizada por el autor de la obra

Maquetación y composición:

Programa de aplicación de tratamiento de texto

Ilustraciones:

Programa de aplicación de tratamiento de imágenes

Tipo de letra:

Times New Roman,
Cuerpos 24, 13, 11, 10 y 9

Impresión:

Impresora de chorro de tinta

Papel del texto:

Mellotex Blanco Brillante, 100 g/m²

Material de la cubierta:

Tela de color gris

X-53-355417-8

Los derechos de propiedad intelectual del *Sistema de Reintegración Cromática Asistido por Medios Transferibles*, de los que es titular José Manuel de la Roja de la Roja, están inscritos en el Ministerio de Cultura, Registro General de la Propiedad Intelectual, con el núm. M-37614. Señalar que para este sistema de reintegración cromática así como para la elaboración de los denominados Fondos Tramados Transferibles, han sido solicitadas con los números: P9802182 y P9900107 las correspondientes patentes en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).

AGRADECIMIENTOS



Agradecimientos

Siendo este apartado el único espacio donde es permisible manifestar la palabras dictadas por la memoria del corazón y no por la razón, expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido a la elaboración de este trabajo.

Su desarrollo ha sido realizado en el Departamento de Pintura-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección de la Dra. Dña. Margarita San Andrés Moya, a quien expreso mi gratitud de una forma sencilla pero sincera por la confianza depositada desde un primer momento, tanto en la idea planteada, como en mis posibilidades y capacidad para poderla llevar a cabo. Asimismo, mi agradecimiento por la oportunidad que en su momento me brindó de ser colaborador honorífico del Departamento durante el desarrollo de esta investigación, así como el

poder llevarla a cabo en el Laboratorio de Química de ese Departamento. Mi reconocimiento por la seriedad y rigor con que ha ejercido la labor de dirección de esta investigación, así como por su capacidad profesional y humana.

Igualmente, mi agradecimiento a los profesores del Dpto. de Pintura - Restauración, Dr. D. Javier Peinado Fernández, Dra. Dña. Sonsoles de la Viña Ferrer y Dr. D. Manual Prieto Prieto, y al Dr. D. Joaquín Perea González del Dpto. de Dibujo, por la ayuda prestada. Asimismo, a la Dra. Dña. María Sánchez Cifuentes por su apoyo y estímulo aportado durante la fase investigadora de laboratorio, al igual que por su asesoramiento técnico. Del mismo modo, expresar mi agradecimiento a la Dra. Dña. Isabel Báez Aglio por sus consejos y sugerencias.

A la Dra. Dña. Paz Cantalapiedra, quien generosamente y de forma desinteresada ha facilitado obra pictórica de su propiedad en la que llevar a cabo la investigación práctica.

A Consuelo, por su comprensión y estímulo prestado en los momentos difíciles, sobre todo durante la fase experimental de la investigación cuando los resultados expectantes no se correspondían con los obtenidos, animándome a seguir perseverando. También por su ayuda en la edición y corrección del documento.

A mis compañeros del Departamento de Pintura - Restauración Alicia, Olvido, Sonia y Marcos, por sus continuas muestras de afecto y apoyo demostradas.

Asimismo, expresar mi agradecimiento, presentando mis más sinceras disculpas a todas aquellas personas próximas que de una forma u otra, quizás ocasionado por una mayor confianza, han soportado mis variaciones de estado de ánimo motivados por la constante preocupación e importancia que ha supuesto para mí el desarrollo de

esta investigación, motivo que aunque no justificable, desearía que comprendiesen.

Por último, testimoniar la importancia que ha tenido mi entrañable y pequeño pueblo natal, Ruguilla, como reducto de evasión donde recabar fuerzas para afrontar las etapas difíciles y de desánimo surgidas durante la investigación.

A mi hija Celia.

ÍNDICE



Índice

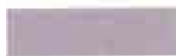
INTRODUCCIÓN.....	19
I. Sistemas de reintegración	31
I.1. Criterios de reintegración.....	31
I.2. Técnicas de reintegración.....	41
I.2.1. Reintegración invisible o ilusionista.....	41
I.2.2. Reintegración visible.....	42
I.2.2.1. Tinta neutra	43
I.2.2.2. <i>Tratteggio o Rigattino</i>	45
I.2.2.3. Puntillismo	47
I.2.2.4. Veladuras.....	49
I.2.2.5. Abstracción cromática-Selección cromática.....	49
I.3. Exigencias técnicas	53
I.4. Aspectos cromáticos.....	57

II. Fundamentos del sistema de reintegración que se propone.....	67
II.1. Principios teóricos del color	68
II.1.1. Estímulos de color - Sensación cromática	69
II.1.1.1. Luz.....	70
II.1.1.2. Interacción luz-materia	78
II.1.1.2.1. Reflexión	80
II.1.1.2.2. Refracción	81
II.1.1.2.3. Transmisión	82
II.1.1.2.4. Dispersión.....	83
II.1.1.2.5. Absorción.....	85
II.1.1.2.6. Difracción.....	88
II.1.1.3. Percepción luz-color	89
II.1.2. Características y especificación del color	104
II.1.2.1. Características subjetivas del color.....	104
II.1.2.2. Características objetivas del color	107
II.1.2.3. Especificación del color	108
II.1.2.3.1. Cubo de Hickethier	110
II.1.2.3.2. Sistema CIE.....	112
II.2. Reproducción del color	115
II.2.1. Principios básicos de la reproducción del color	119
II.2.1.1. Leyes de mezcla cromática.....	121
II.2.1.1.1. Mezcla aditiva.....	121
II.2.1.1.2. Mezcla sustractiva	125
II.2.1.1.3. Mezcla óptica	135
II.2.2. Aspectos técnicos.....	136
II.2.2.1. Función del soporte	137
II.2.2.2. Función de los pigmentos.....	141
II.2.2.3. Función de los puntos de medio tono	153
II.2.2.3.1. Forma de los puntos.....	157
II.2.2.3.2. Tamaño de los puntos	158
II.2.2.3.3. Espaciado entre los puntos.....	159
II.2.2.3.4. Distribución de los puntos.....	164
II.2.2.3.5. Orientación de los puntos.....	165
II.2.2.3.6. Percepción cromática de un diseño de puntos.....	167
II.2.2.3.7. Fondos Tramados Transferibles (FTT).....	179

III. Material necesario para el desarrollo del sistema. Optimación de la naturaleza de los componentes, dosificación y condiciones de trabajo.....	185
III.1. Características de los Fondos Tramados Transferibles (FTT).....	187
III.1.1. Emulsiones fotosensibles.....	190
III.1.1.1. Composición.....	195
III.1.1.1.1. Coloide.....	195
III.1.1.1.2. Sensibilizador.....	201
III.1.1.1.3. Sustancia colorante.....	206
III.1.1.1.4. Bactericidas.....	208
III.1.1.1.5. Plastificantes.....	209
III.1.1.2. Preparación y aplicación.....	209
III.1.2. Negativos tramados.....	216
III.1.3. Obtención de los FTT.....	230
III.1.3.1. Montaje y exposición.....	230
III.1.3.2. Procesado.....	247
III.1.3.2.1. Revelado.....	247
III.1.3.2.2. Preparación para la transferencia.....	251
III.2. Tablas cromáticas.....	252
IV. Proceso de reintegración. Metodología de trabajo	269
IV.1. Análisis del color a reintegrar.....	276
IV.1.1. Análisis comparativo visual.....	277
IV.1.2. Análisis comparativo colorimétrico.....	281
IV.1.3. Valoración porcentual tricromática del color analizado.....	286
IV.2. Síntesis del color a reintegrar.....	287
IV.2.1. Procedimiento operativo.....	288
IV.2.2. Consideraciones técnicas.....	294
V. Discusión	307

VI. Conclusiones.....	319
 ANEXO	 329
GLOSARIO DE TÉRMINOS	383
BIBLIOGRAFÍA	395
ÍNDICE DE MATERIAS	413

INTRODUCCIÓN



Introducción

Ante una situación de deterioro o ruina de una obra de arte, el restaurador guiado por una actitud crítica, puede dirigir su intervención hacia un tratamiento de conservación y/o de restauración.

Es dentro del proceso de restauración donde tiene lugar la denominada etapa de reintegración cromática. Esta etapa tiene como finalidad principal restablecer el potencial estético de la obra de arte, mermado por los deterioros sufridos por el transcurso del tiempo y que impiden realizar su correcta lectura.

*Reintegración
cromática:
finalidad*

Básicamente, esta etapa consiste en realizar una integración cromática en aquellas zonas de la obra donde existen pérdidas del estrato pictórico, y cuyo color afecta de forma negativa al conjunto general.

*Técnicas de
reintegración
tradicionales*

En la actualidad, para llevar a efecto la reintegración existen diferentes técnicas específicas, como son, entre otras, el *tratteggio*, el puntillismo y la abstracción cromática. Se diferencian fundamentalmente en el método de ejecución (puntos, trazos, veladuras); si bien todas ellas se realizan manualmente con pincel, por aplicación de distintas capas y colores sobre el área a reintegrar. Todos estos aspectos son desarrollados en el Capítulo I de esta Memoria.

Inconvenientes

La utilización de cualquiera de estas técnicas supone un proceso lento y laborioso, hecho que resulta especialmente evidente cuando se pretende reintegrar áreas de gran formato; en cualquier caso es necesaria la realización de un minucioso trabajo, trazo a trazo o punto a punto, hasta completar el área de la laguna objeto de la reintegración.

Por otra parte, se encuentra el inconveniente de que no se conoce *a priori* el resultado cromático de la reintegración que se va a obtener con los colores utilizados, por lo que es necesario estar continuamente rectificando durante el transcurso de la intervención. Por comparación visual se tiene identificado el color que se quiere conseguir, pero no los colores necesarios ni su dosificación para lograr su reproducción. A este inconveniente hay que añadir la dificultad técnica que supone la obtención sistemática de un trazado homogéneo, tanto formal como cromáticamente.

De lo expuesto se deduce que, la ejecución de estas técnicas tradicionales de reintegración suponen, por una parte, una excesiva laboriosidad y, por otra, una falta de metodología concreta y precisa respecto a su materialización cromática y formal. Esta situación da lugar a que cada restaurador actúe de una forma *sui generis*, aplicando diferentes soluciones subjetivas de carácter ciertamente intuitivo.

Así, se puede considerar patente la subjetividad del restaurador en la ejecución cromática del área reintegrada, cualquiera que sea la técnica utilizada. Este aspecto se hace más evidente en obras de gran

formato, en las que es necesaria la participación de un equipo de varios restauradores; en tales situaciones resulta muy frecuente apreciar diferencias, tanto de ajuste cromático como de ejecución formal, en el resultado final de la reintegración desarrollada por cada uno de los miembros del equipo, aunque se haya seguido la misma técnica de reintegración.

Por lo tanto, los resultados obtenidos se consideran y se presentan como fruto de la intuición, la experiencia y la habilidad del restaurador. Criterios poco rigurosos en la medida que pueden estar influenciados por una serie de condicionantes; entre otros, las posibles anomalías cromáticas en la visión, la destreza en la ejecución de la reintegración, y la elección de los colores idóneos, referida esta última, tanto a los tonos seleccionados como a sus proporciones, aspectos, que a su vez, están estrechamente relacionados con los conocimientos que posea el restaurador acerca de la teoría de color.

Como ya mencionara Leonardo da Vinci (1986:99), existe el error en quienes ejercen la praxis sin la ciencia, advirtiendo que tal praxis debe estar fundamentada en una correcta teoría.

A partir de la consideración de los inconvenientes que presentan estas técnicas de reintegración en su ejecución cromática, surge la cuestión que muchos restauradores se habrán podido formular sobre la existencia de algún otro método más rápido y cómodo; es posible incluso que alguien haya pensado en algún procedimiento concreto, pero probablemente su materialización se haya visto truncada debido al complejo mundo del color.

*Planteamiento
del nuevo sistema*

Con este mismo planteamiento, surge la idea de un nuevo sistema de reintegración cromática, que podrá solventar en gran parte los inconvenientes citados. En concreto, se parte de relacionar los fundamentos de la Fotografía en color y la metodología seguida en los procesos de reproducción en las Artes Gráficas.

SIRECRAMT A partir de esta relación y en base a un laborioso trabajo experimental, se propone un nuevo sistema de reintegración, denominado: *Sistema de Reintegración Cromática Asistido por Medios Transferibles*, y que en esta Memoria se identificará con la siglas: SIRECRAMT.

Los resultados obtenidos son fruto de la labor de investigación que durante seis años se ha venido realizando en el Laboratorio de Química del Departamento de Pintura - Restauración de la Facultad de Bellas Artes.

Objetivación Este nuevo sistema es concebido bajo una perspectiva de racionalidad científica que facilite la labor del restaurador, con un enfoque sobrio y un punto de vista eminentemente práctico. Se pretende limitar los condicionantes subjetivos presentes en la ejecución cromática de la reintegración, de forma que sea posible obtener unos resultados más óptimos y sistemáticos que, a su vez, permitan disminuir la laboriosidad de ejecución y dotar al sistema de un cierto carácter objetivo.

Solución práctica Con este sistema de reintegración no se pretende cuestionar los sistemas de reintegración existentes, respecto al criterio a seguir en la solución del problema planteado por las lagunas, sino la forma manual de su materialización. Por ello, el sistema además de ser una alternativa a los actuales sistemas de reintegración, supone una solución práctica que facilita la forma de ejecución de aquellos.

Marco de actuación En el ámbito de la Restauración de pintura hay que partir del hecho de que existe toda una filosofía, que gira alrededor del concepto de reintegración y de los criterios que deben seguirse para la materialización de este proceso. Básicamente, su desarrollo ha dado lugar a dos directrices, en cuanto a que la reintegración efectuada resulte "visible o invisible" al observador de la obra. Cada una de estas directrices puede llevarse a cabo siguiendo distintas técnicas, pero

siempre bajo una serie de condicionantes relacionados fundamentalmente con el respeto a la obra de arte, siendo dentro de este marco de actuación donde se encuadra el SIRECRAMT.

Puede decirse que este sistema consiste básicamente en realizar una restitución del color a reintegrar en las lagunas mediante una tricromía. Previamente se compara el color a reproducir con unos patrones cromáticos, a fin de seleccionar los tres colores y dosificación apropiada para la reproducción; estos tres colores seleccionados se superponen por transferencia, mediante una ligera presión sobre el área de la laguna. Este proceso se realiza siguiendo una metodología definida y ágil, frente al carácter laborioso e intuitivo de los sistemas de reintegración existentes.

Fundamentos

A partir de esta idea y de la consideración de su coherencia y viabilidad, se han realizado los ensayos correspondientes, cuyos resultados han permitido establecer una determinada metodología de trabajo. Esta metodología se refiere tanto a la elaboración de los elementos necesarios como a las distintas etapas que comprende la aplicación práctica de este sistema de reintegración.

Los objetivos planteados para poner de manifiesto la viabilidad del sistema, y que han guiado esta labor investigadora, comprenden los siguientes aspectos:

Objetivos

- 1) Establecer o definir las etapas que comprenden el diseño y elaboración de las películas transferibles.
- 2) Selección de los materiales a utilizar en cada una de estas etapas, que cumplan las condiciones necesarias para su utilización en el campo de la Restauración y que pueden considerarse, en principio, como los más adecuados para la preparación de estas películas.

- 3) Determinación de las proporciones en las que estos materiales deben ser dosificados y optimación de las condiciones de trabajo.
- 4) A partir de estas películas transferibles, obtención de una carta de colores patrón, que permita caracterizar cada uno de los colores a reproducir en la reintegración, mediante la cuantificación de los tres colores primarios.
- 5) Aplicación práctica de este sistema (SIRECRAMT) a casos concretos de reintegración sobre obra real.

*Reproducción
del color*

Para la consecución de estos objetivos se han tenido en cuenta los fundamentos que permiten la reproducción del color en otras disciplinas, tales como las Artes Gráficas y la Fotografía en color. La analogía establecida con la metodología seguida en estas disciplinas, ha permitido desarrollar el procedimiento de reintegración que se propone y, por esta misma razón, parte de la terminología utilizada tiene su origen en dichos campos de conocimiento.

*Participación
de otras
disciplinas*

La materialización de este procedimiento de reintegración requiere de la participación de distintas disciplinas científicas, como son la Química, la Fotografía y la Restauración. No obstante, el trabajo se plantea desde y para la Restauración; por ello, y siendo consciente de las limitaciones que conlleva el pretender abarcar distintos campos de conocimiento, algunos aspectos relacionados con las otras disciplinas implicadas pueden ser susceptibles de variaciones dentro de su propio campo. Sin embargo, aquí deben valorarse, en todo caso, como meras herramientas que hacen posible el desarrollo del sistema.

*Desarrollo
explicativo*

Básicamente, la estructuración seguida para el desarrollo explicativo del sistema de reintegración se divide en tres apartados principales: fundamentos teóricos en los que se basa, materiales

necesarios y optimación de las condiciones de trabajo para su ejecución, y metodología de aplicación práctica.

En relación a los fundamentos teóricos en que, se apoya el sistema que se propone, materia tratada en el Capítulo II, hay que señalar que al igual que en cualquier otro sistema de reintegración, es necesario considerar los aspectos relacionados con la reproducción del color y, por lo tanto, con la teoría del color que lo hace posible. En este sentido, se analizan los fundamentos teóricos que permiten la obtención del color a reintegrar, concretamente las leyes de mezcla cromática y su concreción física mediante puntos o trazos de color, cuya percepción óptica simula los distintos grados de saturación de cada uno de los colores primarios utilizados.

*Fundamentos
teóricos*

Por otro lado, el sistema se basa en que cada uno de los colores primarios puede ser obtenido en distintos grados de saturación, en forma de películas de unas características tales que permiten su transferencia sobre la superficie a reintegrar; estas películas se denominan *Fondos Tramados Transferibles (FTT)*.

*Fondos
Tramados
Transferibles
(FTT)*

De esta forma, y mediante la adecuada combinación de dichos colores primarios, es posible obtener una amplia gama de tonalidades, cuya representación en tablas cromáticas permite, a su vez, conseguir de forma sistemática, un color semejante al de la zona a reintegrar.

*Tablas
cromáticas*

Los FTT son preparados mediante el adecuado procesado de emulsiones fotosensibles especialmente preparadas al efecto, y que deben reunir unas características muy concretas. En el Capítulo III junto con el Anexo de esta Memoria se recoge el laborioso proceso experimental, que ha permitido poner a punto la metodología de obtención de estos FTT. Señalar que existen otros métodos de obtención, los cuales son planteados en esta Memoria como futuras vías de investigación.

*Material
necesario*

Hay que destacar que, si bien cualquier trabajo de investigación experimental requiere una etapa de ensayos previos, que permita determinar las condiciones de trabajo más adecuadas a fin de lograr el objetivo u objetivos propuestos inicialmente, en este caso, ésta ha sido la etapa más laboriosa por diversas razones, entre las que cabe destacar la escasa bibliografía existente relacionada de forma directa con la aplicación práctica del sistema, así como por la participación de otras disciplinas distintas a la Restauración (Química y Fotografía), que como ya se ha mencionado, deben cumplir una serie de exigencias técnicas marcadas por la primera.

Exigencias técnicas

Las limitaciones y exigencias técnicas implícitas en todo proceso de restauración han delimitado el margen de maniobra en la elaboración de estos elementos, FTT y tablas cromáticas. Es por ello, que el desarrollo de esta fase de la investigación ha supuesto una inversión de tiempo muy importante, en relación con el conjunto de todo el trabajo; la fase experimental ha sido tremendamente laboriosa, habiéndose realizado gran cantidad de ensayos.

Sin embargo, con el fin de agilizar la descripción de las distintas etapas que comprende el proceso de obtención de los FTT y tablas cromáticas, y la explicación de los resultados obtenidos, se ha considerado conveniente recoger en el Capítulo III de esta Memoria únicamente los resultados óptimos; estos resultados se refieren a los materiales, dosificación y condiciones de trabajo, como a la descripción de las distintas etapas del proceso.

Como ampliación de este Capítulo III, en el Anexo de esta Memoria se explica de forma más detallada la evolución por la que ha transcurrido esta experimentación. Se describen las distintas variables, su interrelación y cómo, finalmente, se han llegado a optimar. No obstante, hay que destacar que si bien en este Anexo figuran únicamente 23 ensayos, el número total de los mismo ha sido mucho más numeroso

(alrededor de 530); los que aquí se muestran son los más significativos, y puede considerarse que de alguna forma abarcan todos los realizados.

Una vez optimado el proceso de elaboración de los FTT por medios fotomecánicos, y la elaboración de las correspondientes tablas cromáticas, la etapa siguiente corresponde a la aplicación práctica de este sistema de reintegración y la demostración de su viabilidad. Puede considerarse que estos dos últimos aspectos constituyen el objetivo principal de esta Memoria; son tratados en el Capítulo IV, donde se explica detalladamente el proceso seguido en la reintegración llevada a cabo sobre obra real y se exponen los resultados obtenidos.

Aplicación del sistema

A partir del conjunto de los resultados obtenidos, en relación con los objetivos propuestos, en el Capítulo V se plantea la discusión sobre determinadas cuestiones; concretamente, se discuten aspectos relacionados con la preparación de los FTT, elaboración de las tablas cromáticas y aplicación práctica del SIRECRAMT.

Discusión

Por último, se establecen en el Capítulo VI las conclusiones derivadas del desarrollo de este trabajo de investigación, así como del resultado de cotejar el SIRECRAMT con los sistemas de reintegración tradicionales.

Conclusiones

Destacar que si bien en el desarrollo de esta Memoria la aplicación del SIRECRAMT está enfocada a la reintegración cromática de pintura de caballete, resulta igualmente válida su aplicación en escultura y pintura mural; no obstante será necesario realizar los ensayos previos oportunos que pongan de manifiesto sus posibilidades.

Ámbito de aplicación

Asimismo, existen otras aplicaciones que pueden tener cabida en otros campos ajenos a la Restauración, como pueden ser el Diseño Gráfico y la Maquetación, los cuales no son objeto de estudio en este trabajo, quedando abiertos a posibles investigaciones futuras.

Viabilidad del sistema

Por último, observar que aunque tanto el desarrollo como la puesta a punto de las diferentes etapas que hacen posible la aplicación del procedimiento planteado, son susceptibles de posibles variaciones, para esta investigación han permitido poner de manifiesto el objetivo principal propuesto de mostrar la viabilidad del sistema.

I. SISTEMAS DE REINTEGRACIÓN



Sumario: I.1.- Criterios de reintegración. I.2.- Técnicas de reintegración. I.2.1.- Reintegración invisible o ilusionista. I.2.2.- Reintegración visible. I.2.2.1.- Tinta neutra. I.2.2.2.- *Tratteggio* o *Rigattino*. I.2.2.3.- Puntillismo. I.2.2.4.- Veladuras. I.2.2.5.- Abstracción cromática-Selección cromática. I.3.- Exigencias técnicas. I.4.- Aspectos cromáticos.

I

Sistemas de reintegración

I.1.- CRITERIOS DE REINTEGRACIÓN

En una obra pictórica, se denominan "lagunas" a las faltas ocasionales o intencionadas, bien de la capa pictórica, o bien de la capa pictórica y de la capa de preparación. Estas faltas o pérdidas constituyen por sí mismas unos elementos físicos, en cuanto a forma y color, que interrumpen el mensaje implícito de la obra, fundamentalmente el estético; aportan a la superficie pictórica una nueva configuración, ya que, generalmente al no ser elementos neutros, aparecen contorneados, mostrando el color de la preparación, del soporte o de la imprimación (Bello y Borrel, 1995:23; Brandi, 1993:74; Buces, 1991:460; Díaz, 1975:178).

¿Qué es una laguna?

Las interferencias más graves en la continuidad coherente de una imagen no siempre se corresponden con las lagunas más extensas. La

*Tamaño y
localización*

perturbación producida varía e influye de diferente forma según sea su localización, o bien en función del tipo y características de la obra. Así, por ejemplo, un conjunto de diminutas lagunas pueden crear una gran interferencia en la percepción de determinadas imágenes, mientras que una laguna extensa puede interferir mínimamente dentro de un fondo monocromático de color similar al de la laguna (Legorburu, 1995:351). Generalmente, es más grave el efecto visual ocasionado por la laguna, en cuanto a su inserción indebida, que la falta matérica ocasionada por la misma (Fig. I.1).



Fig. I.1. Obra pictórica en la que aparecen diferentes lagunas cuya apreciación visual se hace notoria dentro de la imagen, distorsionando la lectura estética general de la misma.

Así, la presencia de la laguna en la imagen se hace notoria y precisa, resaltando y atrayendo la atención del espectador y llegando a percibirse, según Cesare Brandi (1993:74-75):

[...] como una *figura* a la que la imagen pictórica, escultórica o arquitectónica queda obligada a hacer de *fondo*, mientras es ésta la propia figura y en primerísimo término.

*Cómo se
percibe una
laguna*

La laguna, como superficie contorneada incluida dentro de los límites de la totalidad de la imagen, al poseer un área menor, tiende a adquirir un *status* de figura en relación a la superficie circundante, que a su vez es percibida como fondo. El fenómeno de figura-fondo fue estudiado inicialmente por Rubin y, posteriormente, por la escuela psicológica de la *Gestalt*, que se dedicó a la investigación de los fenómenos perceptivos que se acaban de indicar. Según uno de sus principios, la limitación en el espacio de una superficie define la posibilidad de dividir figura-fondo, y generalmente las áreas limitadas o circundadas son atribuidas a figuras y no a un fondo (Koffka, 1973:278; Luna, 1992:369; Schuster y Beisl, 1982:25).

Otro aspecto que contribuye a aumentar la notoriedad de la laguna en la imagen, es el cambio abrupto de los gradientes de intensidad luminosa existente entre ambas -laguna/imagen-, ya que se genera una mejor definición o resolución de los mismos (Gibson, 1974:158); tal situación se produce, por ejemplo, en una zona de penumbra de la imagen interrumpida por una laguna, la cual presenta, generalmente, el color blanco correspondiente a la capa de preparación. Según el efecto de Liebmann (Koffka, 1973:155-156), una figura roja aplicada sobre un fondo verde con una luminosidad exactamente igual, se observa que la distinción figura-fondo se desvanece; así, la distinción entre figura-fondo depende más de la luminosidad que del matiz. Este aspecto es utilizado a menudo por los pintores para reforzar las diferencias de matiz aplicando distinta luminosidad.

*Aspectos que
destacan la
laguna*

Zona de mayor interés Una vez que la laguna -figura- ha sido visualmente aislada como zona de mayor interés para el observador, la atención se centra sobre ella; este hecho queda reflejado en un aumento del número y duración de las fijaciones del ojo en el área de la laguna -figura-, en mayor grado que en la imagen general -fondo-, así, se establece una transferencia periódica de atención desde una parte -laguna- a una totalidad -imagen general- (Granovskaya, Bereznaya y Grigorieva, 1987:46-47).

Devaluación de la imagen A la mutilación de la imagen producida por las lagunas, hay que añadir además, una *devaluación*, es decir, un retroceso con carácter de fondo de lo que precisamente en su origen era la figura (Brandi, 1963:150; Brandi, 1993:27-28).

Interferencia de las lagunas Las lagunas generan ciertas tensiones que compiten con las propias de la imagen pictórica, ya que no permiten al ojo efectuar una lectura equilibrada de la imagen, y producen una sensación equívoca, generalmente, desagradable. Esa duda hace imprecisa la lectura y afecta al juicio perceptual del observador. Ante estas situaciones confusas o ambiguas, el esquema visual deja de determinar lo que se ve y entran en juego otros factores subjetivos del observador, tales como su foco de atención o su preferencia por alguna dirección determinada (Arnheim, 1994:27).

En la obra pictórica contemporánea, la perturbación estética ocasionada por las lagunas puede resultar incluso más grave que en obras antiguas, ya que, en general, la esencia o principio de la pintura actual se basa con frecuencia en efectos cromáticos (Althöfer, 1991:85-86).

Valor negativo de la laguna Si se considera la obra de arte como una unidad, una laguna actúa sobre ella fragmentándola, al interrumpir su plano figurativo y cromático. Cuando se deteriora esa conexión, la lectura natural de la obra resulta difícil en muchos casos debido a que la laguna asume una

función que no le corresponde, haciéndose, así, más notoria su presencia en forma de figura en un primer plano.

Esta interrupción o fragmentación de la imagen en la obra de arte ocasionada por las lagunas se puede restituir ya que, según Brandi (1993:25-26):

[...] la obra de arte, al no constar de partes, si está fragmentada físicamente, deberá continuar subsistiendo *potencialmente* como un todo en cada uno de sus fragmentos, y esta *potencialidad* será exigible en una proporción directamente vinculada con la huella formal que ha sobrevivido a la disgregación de la materia en cada uno de los fragmentos.

La obra como un todo

Para restablecer el potencial expresivo de la obra se recurre a neutralizar el carácter negativo que la laguna tiene sobre la misma, reduciendo el valor emergente que la laguna asume respecto a la obra, de figura a fondo (Brandi, 1963:150). Para ello, la laguna deberá asumir un valor de nexo de unión de las partes o fragmentos originales existentes y no de interrupción como pérdida, tratando por otra parte, de que quede patente su existencia en la obra como un hecho ligado al tiempo-vida de la misma (Casazza, 1992:65; Philippot, 1959:5; Pincas, 1991:292). La intervención que trata de resolver esta ambivalencia, dentro del proceso de restauración de la obra, se denomina reintegración. Este proceso se establece como una hipótesis crítica, es decir, como proposición sujeta a posibles modificaciones (Philippot, 1959:11).

Neutralizar la laguna

Reintegración

Así pues, mediante el proceso de reintegración, se consigue recomponer la unidad estética de la obra al situar la laguna en el plano que le corresponde, o lo que es igual, se obtiene su integración en el contexto, estableciendo un equilibrio cromático (Malavoy, 1988:129); asimismo, se intenta no modificar los aspectos formales de la misma y se valoran en su justa medida las partes originales. Se pretende, en fin,

Unidad estética

que el tratamiento de la laguna tenga una solución que no perjudique el futuro de la obra y no altere su esencia (Brandi, 1963:151).

*Inicio de la
reintegración*

Limpieza

Dentro del proceso de restauración de la obra, la fase de reintegración tiene lugar una vez estucadas las lagunas y efectuada la limpieza de la capa pictórica, y una vez aisladas estas intervenciones por una capa de barniz de retoques.

Estucado

Con la primera fase citada -estucado de las lagunas-, se consigue una continuidad matérica, nivelando la superficie de éstas con la del estrato pictórico¹; este proceso se puede considerar como una primera fase de la reintegración, ya que la calidad de su ejecución afecta notoriamente a los resultados posteriores de la reintegración cromática. En cuanto a la segunda fase, eliminación del barniz alterado, así como de las materias extrañas depositadas, indicar que permite efectuar la reintegración de las lagunas con respecto a los colores de la obra, libres de enmascaramientos que los distorsionen² (Bergeon, 1996:20; Sánchez y Dalmau, 1997:126-127). Por último, la capa de barniz de retoques aísla la intervención de reintegración con respecto a la capa pictórica original y además reactiva la intensidad de los tonos, facilitando así la igualación cromática entre la intervención y el original.

*Exigencias
técnicas*

La reintegración cromática exige tanto una interpretación crítica apoyada en una sensibilidad artística, como una cultura histórica y estética (Brandi, 1963:146; Philippot, 1959:6). Por otra parte, el restaurador debe ser consciente de que es inevitable la influencia del periodo histórico en el que vive y su visión cultural de percibir la obra; así, el acto concreto de reintegración debe reconocerse como una

¹ Los equivalentes a texturas o empastes de materia de la capa pictórica original, nunca se deben obtener por relieve del color aplicado, sino por el del estuco; aplicando en la reintegración una fina película de color (Bergeon, 1996: 26).

² La variación de los colores es muy frecuente debido al amarilleamiento del barniz, así, por ejemplo, colores azules aparecen como verdes y blancos como amarillos.

intervención sujeta a la relatividad del momento (Scicolone, 1993:111) y, por lo tanto, susceptible de ser mejorada en el futuro.

Es a partir del año 1945 cuando se empieza a utilizar la palabra *reintegración* en los Institutos de Restauración de Roma y Bruselas (Legorburu, 1995:254). Se emplea el término *reintegración* y no el término *retoque* (a veces usado por algunos autores especialmente en el pasado), debido a que este último ha tenido históricamente una connotación de imitación y de repinte³ del original (James, 1991:219), lo que pudiera inducir a error ya que en todo momento la reintegración deberá limitarse estrictamente al contorno de la laguna, sin exceder de sus bordes y no invadiendo lo más mínimo las zonas adyacentes de la capa pictórica.

*Reintegración
versus Retoque*

Con carácter general, la reintegración cromática contempla los problemas de índole estético en relación a la intervención en la obra de arte. Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, puede decirse que consiste en la integración cromática de las partes que faltan en la obra de arte, a fin de conseguir que ésta sea legible nuevamente; este proceso debe llevarse a cabo sin que intervenga la inventiva del restaurador.

Brandi (1993:14-15), en su obra *Teoría de la restauración*, crea un pensamiento filosófico sobre la obra de arte, situándola ante el espectador en el tiempo y en el espacio en sus dos aspectos, estético e histórico.

El valor de la obra de arte se deriva siempre de su conjunto y originalidad, de su ser inimitable. Por ello, la inserción de un material extraño es grave, bien sea desde el punto de vista histórico o matérico (Scicolone, 1993:112). Para respetar la estructura matérica original de la

Reversibilidad

³ Según Calvo (1997:189), se denomina repintes "[...] a las capas de color aplicadas sobre una pintura o decoración policroma con intención de reparar u ocultar daños existentes en el original, total o parcialmente, o de modificar su aspecto. Están realizados en época posterior a la conclusión de la obra, por artistas diferentes a los autores".

obra, la reintegración debe ser llevada a cabo usando materiales reversibles, que no interaccionen con los restos originales (Legorburu, 1995:350).

De acuerdo con el segundo principio de la restauración citado por Brandi (1993:17), el cual dice:

[...] la restauración debe dirigirse al restablecimiento de la unidad potencial de la obra de arte, siempre que sea posible sin cometer una falsificación artística o una falsificación histórica y sin borrar huella alguna del transcurso de la obra de arte a través del tiempo.

el proceso de reintegración quedaría imposibilitado, así como cualquier intervención, si no se adopta una actitud crítica frente a la obra.

Actitud crítica

Un deterioro tal como una laguna, sufrido por la obra como resultado de su propia existencia, y que interrumpe el ritmo establecido por la imagen, no debe prevalecer sobre la recuperación estética; siempre y cuando ésta pueda realizarse sin cometer una falsificación; por el contrario, otros tipos de deterioro no perturbadores en la lectura de la imagen, como por ejemplo las craqueladuras, pueden y deben permanecer⁴.

Este segundo principio de Brandi, delimita la restitución de la unidad potencial, con el fin de evitar que con ello se llegue a una falsificación artística o histórica.

⁴ Cabe matizar entre distintos tipos de craqueladuras: "de edad" y "de color o prematuras". Las denominadas craqueladuras "de edad" afectan a toda la materia pictórica, abarcando las capas profundas hasta la preparación; éstas, por lo general, no perturban la lectura de la obra. Por otra parte, las craqueladuras "de color o prematuras", se deben a defectos de secado de la capa pictórica (exceso de aceites secativos, falta de porosidad de la capa de preparación, etc.) y aparecen de manera prematura; pueden ser de tamaño considerable y perturbar la lectura de la obra por la ruptura de la capa pictórica final que deja aparecer la capa subyacente de otro color. La actuación sobre este tipo de craqueladuras "de color o prematuras", consiste en reducir su notoriedad, no obstante sin esconder esta característica particular de la técnica de ciertos artistas (Bergenson, 1996:25).

Lo primero, falsificación artística, sucedería si la reintegración de las lagunas existentes en la obra se realizara en base a hipótesis, tales como analogías documentales o estéticas, intentando de esta forma reconstruir la imagen. Este hecho, en sí mismo, es una falsificación que desvirtúa la impresión estética del original, ya que incorpora elementos extraños a su entidad.

*Falsificación
artística*

Respecto al segundo tipo de falsificación -histórica-, se hace patente la historicidad marcada por el tiempo, ya que su huella se encuentra en la misma materia, la cual no puede ser actualizada sin transgredir los límites del respeto de su propia historia; debiendo ser discernible la intervención efectuada con respecto al original.

*Falsificación
histórica*

Ante esta ambivalencia que presenta una obra, histórica y estética, son dos las posiciones críticas que puede adoptar el restaurador en cuanto a la reintegración de las lagunas o pérdidas en las obras de arte: no intervención o intervención.

La aplicación del primer criterio supondría una mera conservación arqueológica, en la que prevalece el aspecto histórico frente al estético. En algunos casos, tales como aquellos en los que la constitución, situación, extensión y número de las lagunas no afecten al valor estético de la obra, este criterio puede adoptarse, y con ello se podrán salvar ambos, el documento histórico y su unidad estética (Bergeon, 1990:197; Díaz, 1975:178). Otros factores que también pueden influir en la no intervención es el destino de la propia obra, es decir, si en el futuro va a ser expuesta, o bien permanecerá en depósito y, en este caso, si va a ser consultada frecuentemente o su acceso será restringido (Bello y Borrel, 1995:37). Asimismo, cuando su propia funcionalidad es la razón de un deterioro concreto puede ser interesante dejar perceptible las faltas ocasionadas en la materia pictórica para recordar su función original⁵ (Bergeon, 1990:194), o bien en el caso de

*No
intervención*

Factores

⁵ Los trazos del uso que tienen las obras según su función en una sociedad constituyen, lo que denomina Bergeon (1996:19), "la pátina de utilización".

que la laguna producida sea consecuencia de un hecho histórico relevante (Buces 1991:461). No obstante, la no intervención puede afectar de manera importante al ritmo establecido en la obra y, sobre todo, a la lectura natural de la misma.

Este tipo de proceder de "no intervención", con marcado carácter historicista, debe adoptarse con una actitud crítica ya que, de lo contrario, las obras de arte podrían convertirse en auténticas obras arqueológicas, perfectamente válidas para la historia, pero alejadas y ajenas al fin principal de su creación: su potencial estético (Marijnissen, 1967:372-373; Mora, Mora y Philippot, 1984:302).

Intervención

El segundo criterio -intervención-, comprende diversas formas de proceder, que se denominan técnicas de reintegración, todas ellas permiten dar una solución estética adecuada a una gran variedad de problemas y tienen como objetivo común llegar a restablecer el potencial expresivo de la obra. El empleo de una técnica concreta, así como el grado de acabado, estará determinado en función de una interpretación crítica de cada caso, ya que cada obra es distinta y por tanto también habrá de serlo su tratamiento. En la elección influirán una serie de factores, como son la extensión, el tamaño y la ubicación de las lagunas, la documentación existente, así como la funcionalidad, el estilo y el carácter de la obra (Bello y Borrel, 1995:37; Bergeon, 1990:194; Calvo, 1995:200-201; Ciatti, 1990:61; Legorburu, 1992:87; Legorburu, 1995:255; Philippot, 1959:9; Pincas, 1991:293). En resumen, la técnica elegida deberá ser la más acorde a las características individuales y a los problemas que cada obra presente.

Factores

De lo expuesto se deduce la dificultad de establecer unas normas metodológicas generales y precisas de actuación en la elección de la técnica de reintegración adecuada, que afronte los problemas de la reintegración de lagunas; por ello, dependerá en cada caso y en gran medida del criterio y sensibilidad del restaurador.

I.2.- TÉCNICAS DE REINTEGRACIÓN

I.2.1.- Reintegración invisible o ilusionista⁶

Con esta técnica, también llamada integral o imitativa, se plantea tanto la integración del color, como de la forma y textura de las zonas de la capa pictórica que muestran pérdidas. Este proceso se lleva a cabo de manera que no se distinga el área reintegrada del original, y muy frecuentemente, esta técnica llega a acercarse a una falsificación.

Fundamentos

En algunos casos este tipo de reintegración se guía por la imaginación y la fantasía del restaurador; se imita algo que no se sabe cómo era inicialmente lo cual supone una falsificación, salvo cuando existen documentos gráficos que lo atestiguan (Fernández, 1996:161).

Falsificación

La reintegración invisible o ilusionista se ha venido aplicando casi de forma exclusiva, desde los inicios de la historia de la restauración hasta principios del siglo actual (Macarrón, 1995:171); no obstante, aunque es cuestionada y desaconsejada por los nuevos criterios de restauración, se sigue utilizando a menudo, con la salvedad de que se ha incorporado el empleo de materiales reversibles. Algunos autores aconsejan la conveniencia de su utilización, como por ejemplo en cuadros de pequeño formato (Malavoy, 1988:131), o bien hacen una defensa de la misma en determinados tipos de intervenciones en las que no tenga opción la arbitrariedad creativa del restaurador (Bergeon, 1996:24; Legorburu, 1992:89; Legorburu, 1995:362-365).

Aplicación

Una buena ejecución de esta técnica hace que no sea posible apreciar o distinguir a simple vista la reintegración respecto de la parte original; para su identificación deberá recurrirse a métodos científicos, como el uso de lámparas de luz ultravioleta o la realización de análisis químicos. Sin embargo, con el transcurso del tiempo, la reintegración

Identificación

⁶ Según Bergeon (1996:27), la palabra *ilusionista* tiene su origen en el siglo XVIII, época en la que la reintegración es imitativa.

efectuada puede sufrir un envejecimiento individual y distinto al de la obra, lo que evidencia y pone de manifiesto su diferencia cromática respecto al original (Bello y Borrel, 1995:38; Malavoy, 1988:131).

Técnicas

Tradicionalmente, este tipo de reintegración se ha obtenido por la superposición de veladuras de tonalidad más oscura y caliente sobre un fondo de tono más claro y más frío que el original (Bergeon, 1996:24); todo ello con la finalidad de que la reintegración se funda ópticamente con el color adyacente. Asimismo, también se consigue mezclando los colores en la paleta hasta encontrar uno semejante al de la zona próxima que circunda la laguna.

Otra forma totalmente distinta de realizar esta reintegración ilusionista se basa en la reconstrucción siguiendo la misma sucesión de estratos que los de la obra a restaurar; a este método se le denomina "continuidad de estructura" (Bergeon, 1990:192; Bergeon, 1996:24).

Utilización

En muchos casos, el sistema de reintegración invisible o ilusionista viene exigido por los propietarios, galerías de arte, marchantes, anticuarios y coleccionistas y tiene, entre otras, como razón más noble, la de rodearse de cosas bellas, no de documentos; de ahí su deseo de restaurar objetos de valor (Bello y Borrel, 1995:38; Marijnissen, 1967:375). Frente a ellas, la reintegración visible, que se describe en el siguiente apartado, suele venir exigida principalmente por los museos (Malavoy, 1988:129), en donde las pérdidas son reconocidas como tales. Bajo esta consideración, las lagunas se mantienen en tonalidades neutras sencillas o con el tono de la imprimación, de tal forma que la intervención efectuada no pueda comprometer los posibles exámenes posteriores que se lleven a cabo.

1.2.2.- Reintegración visible

*Intervención
discernible*

Este sistema de reintegración trata de restablecer el potencial expresivo de la obra y a su vez mostrar con honestidad los deterioros,

tales como las lagunas, sufridos a lo largo de su existencia. Para cumplir esta doble exigencia -estética e histórica-, según menciona Brandi (1993:74), la reintegración debe ser fácilmente discernible visualmente por un observador al aproximarse a la obra y, por otra parte, resultar integrada en la misma cuando se contempla a cierta distancia.

Así, estableciendo como principio del sistema de reintegración visible, el reconocimiento o distinción de las áreas reintegradas con respecto a las partes originales de la obra, tanto a nivel estético como a nivel técnico, queda salvaguardada además de su integridad estética, propia de la reintegración, su integridad histórica (Prieto y Sánchez, 1997:19). Este principio se lleva a cabo efectuando la reintegración por medio de un código de signos discernibles del original.

Dentro de la reintegración visible se encuadran los siguientes métodos de reintegración:

I.2.2.1.- Tinta neutra

Este procedimiento tiene sus antecedentes en las especialidades de restauración arqueológica. Consiste en realizar una reintegración por medio de un supuesto tono neutro, resultado de la síntesis de todos los tonos de la obra, de forma que entonen en el conjunto y, además, sitúen las lagunas en un segundo término en la visión de la imagen (Bello y Borrel, 1995:39). Según Bergeon (1990:194), la elección del tono sería el semejante al color más frecuente en la obra.

Arqueología

*Tono neutro
general*

Este método, que en un principio puede considerarse como válido, sería aplicable siempre y cuando la tinta neutra se integrara con los colores propios de la obra; este hecho es ciertamente utópico, ya que la interacción del color siempre está patente y de modo distinto según sea el color adyacente (Albers, 1985:35-36, 53). Desde una perspectiva cromática puede decirse que la tinta neutra no existe objetivamente

*Interacción del
color*

Fragmentación (Bergeon, 1990:194; Legorburu, 1995:263; Ruhemann, 1968:257); por este motivo, la arbitrariedad en las interpretaciones del término *neutro* da lugar en la práctica a resultados poco satisfactorios como, por ejemplo, la fragmentación cromática de la obra, en la que existen áreas reintegradas con el supuesto color neutro que no mantienen relación alguna con el original (Díaz, 1975:178; Fernández, 1996:161; James, 1991:219).

Tono neutro general
Resultados desiguales La aplicación de un tono neutro general en la totalidad de las lagunas presentes en la obra, sin tener en cuenta su ubicación y extensión, produce resultados distintos dentro de la misma. En algunas zonas, las lagunas pueden estar integradas y en otras, por el contrario, totalmente desentonadas (Legorburu, 1995:263). Como ya se ha mencionado en el párrafo anterior, este fenómeno es debido a la interacción del color neutro con los colores contiguos y, en concreto, a determinados efectos como es el de persistencia de la imagen o contraste simultáneo; efectos que originan una decepción cromática en la percepción del supuesto color neutro general (Albers, 1985:35-36, 53; Chevreul, 1969:1-4).

Efecto contrario En estos casos en los que las lagunas desentonan con los colores circundantes se puede incurrir, además, en el predominio de la forma sobre el color, al generar límites apreciables en áreas determinadas, por lo que en algunos casos puede proporcionar un efecto totalmente negativo.

Limitaciones El criterio general que se aplica es elegir un tono neutro más claro que el de los tonos adyacentes que presenta la obra (Legorburu, 1992:88); si bien, este sistema de reintegración no permite alcanzar la ilusión óptica que genere la sensación de volumen, ni restituir el aspecto matérico de los elementos representados en la obra (Marijnissen, 1967:379).

Los procedimientos por los que se puede llevar a cabo la reintegración con tinta neutra son varios; puede realizarse con un *tratteggio*, unas veladuras o un puntillismo, según se describe en los apartados siguientes (Bergeon, 1990:194).

Técnicas

Según sugiere Marijnissen (1967:378), esta técnica de reintegración puede ser considerada en ciertos casos, concretamente en obras en las que el tono general sea muy uniforme, sin contrastes cromáticos. No obstante, este método de reintegración neutra, unitaria o general, tiende a ser rechazado en el campo de la pintura.

Aplicación

1.2.2.2.- *Tratteggio* o *Rigattino*⁷

Este sistema tiene su origen en el Instituto Centrale del Restauro de Roma⁸, y está inspirado en la teoría de la restauración de Cesare Brandi (Bergeon, 1990:193; Brandi, 1963:149). Para conseguir el color de la reintegración, se basa en generar una ilusión óptica, obtenida por la división de los colores y su posterior mezcla visual. Althöfer (1991:86) define este sistema como la versión italiana del puntillismo.

Fundamentos

Ilusión óptica

La reintegración se realiza a partir de colores puros, mediante la aplicación de una serie de pequeños trazos paralelos y verticales superpuestos y yuxtapuestos. La recomposición del tono surge en el ojo del espectador gracias a la persistencia de las imágenes luminosas sobre la retina; efecto que permite obtener una equivalencia cromática del área reintegrada con respecto al original adyacente. Por otra parte, su diferencia con el original queda patente al contemplarse a una distancia próxima, puesto que el aspecto que presenta es el de un entramado de trazos (Fig. I.2).

⁷ Se utiliza el término *rigattino*, quizás más difundido en España, como equivalente de *tratteggio* usado en Italia, según N. del T. del libro de Cesare Brandi: *Teoría de la restauración*, Madrid, Alianza Forma, 1988, pág. 74.

⁸ El *tratteggio* fue elaborado por los restauradores Laura y Paolo Mora, entre 1945-1950 (Bergeon, 1996:27).



Fig. 1.2. Detalle de una reintegración cromática realizada mediante *tratteggio* (Bergeon, 1996:22).

La reintegración así efectuada puede prestarse a confusión respecto al color original, en el caso de que su ejecución se realice sin ninguna o poca calidad y no permita apreciar los trazos efectuados, o bien, se ejecuten unos trazos intensos y gruesos que haga prevalecer el aspecto formal de los mismos sobre el efecto cromático que se persigue.

Exigencias técnicas

Su ejecución necesita de unas exigencias técnicas específicas, entre ellas su realización sobre un estuco blanco, ya que la luminosidad de éste crea una superficie reflectante para los trazos de los colores puros que se utilicen.

Procedimiento

Básicamente, este método de reintegración tiende a realizarse con la aplicación de tres colores. Los primeros trazos configuran un tono base y se disponen a intervalos iguales y equivalentes al grosor del trazo. Estos intervalos se rellenan posteriormente con un color diferente y después con otro, hasta obtener por yuxtaposición y superposición de

colores el tono y modelado deseado. Los trazos pueden ser más o menos finos, próximos y adaptados según la dimensiones de la obra (Mora, Mora y Philippot, 1984:309).

Su aplicación es compleja, lenta y laboriosa, ya que los trazos se realizan con pinceles muy finos y los resultados obtenidos no siempre son los deseados. A la laboriosidad de ejecución de esta técnica, hay que añadir la dificultad de obtener pinceladas que sean nítidas en los trazos, es decir, sin discontinuidad y sin formar gotas en la parte inferior de los mismos, de manera que comiencen y terminen en forma aguda. Cada uno de los trazos ha de ser por sí mismo poco intenso, con el fin de conseguir la intensidad por su yuxtaposición y superposición y no por la fuerza del color (Mora, Mora y Philippot, 1984:309).

Inconvenientes

Una variación de este procedimiento de reintegración es el denominado *tratteggio modulato* o *matizado*, donde el color de los trazos puede variar a lo largo de su trayecto (Bergeon, 1990:193; Pincas, 1991:294); este sistema permite obtener un grado de reintegración más elevado y mantener a simple vista su carácter discernible.

*Tratteggio
modulado*

Cuando estas reintegraciones se llevan a cabo sobre lagunas extensas o de formas poco complejas, tales como áreas monocromas, la vibración del rayado tiende a generar una imprecisión perceptual (Legorburu, 1995:260; Mora, Mora y Philippot, 1984:310).

I.2.2.3.- Puntillismo

El método del puntillismo consiste en la aplicación de múltiples puntos de colores puros yuxtapuestos y superpuestos (Fig. I.3). Al igual que el *tratteggio*, este sistema tiene sus antecedentes en el principio de contraste simultáneo de los colores de Delacroix, en el impresionismo donde los colores son obtenidos por trazos yuxtapuestos y, más concretamente, en los neo-impresionistas en cuanto a la descomposición

Fundamentos

de colores y yuxtaposición de colores puros; aspecto que en la actualidad lo podemos encontrar en distintas disciplinas tales como la televisión en color y, más concretamente, en los sistemas de reproducción de los colores impresos; todos estos sistemas se basan en las leyes de mezcla cromáticas.



Fig. 1.3. Detalle de una reintegración cromática efectuada mediante la técnica de puntillismo (Bergeon, 1996: 23).

Aplicación

Este procedimiento de reintegración, más flexible que el *tratteggio*, se adapta muy bien a las obras cuya técnica original está marcada por un cierto puntillismo, o bien en pinturas con soporte de tela, en los que se aprecia un aspecto más o menos punteado, originado por la propia textura del soporte. En general, este procedimiento se adecua a distintos tipos de obras de épocas diferentes, obteniéndose, normalmente, resultados óptimos (Legorburu, 1995:261).

Dependiendo del trazado de los puntos en cuanto al tamaño y espaciado, la reintegración será discernible a simple vista o bien parecerá poco visible en los casos límite, donde los puntos realizados sean tan minúsculos que el ojo no pueda apreciarlos si no es con la

ayuda de un instrumento óptico de aumento (Bergeon, 1990:194; Pincas, 1991:295).

Al igual que en el *tratteggio*, en este caso es necesario partir de un fondo de color blanco para dar la mayor luminosidad posible a los colores que se aplican.

Exigencias

La tarea de reintegrar una superficie de dimensiones considerables punto a punto y en varias capas y colores, supone una lentitud y laboriosidad notables en relación con el porcentaje de tiempo empleado en el proceso de restauración de la obra.

Lentitud y laboriosidad

I.2.2.4.- Veladuras

Este procedimiento se aplica cuando en un cuadro la pintura original existe pero resulta borrosa o poco evidente en determinadas áreas, debido al desgaste de la capa pictórica (Legorburu, 1995:262), o bien falta la capa pictórica, pero la capa de preparación subsiste todavía (Bergeon, 1990:193; Pincas, 1991:295).

Aplicación

La reintegración se efectúa por medio de veladuras de color muy sutiles que procuren transparencias y permitan visualizar toda la subcapa y la información que conlleva.

Procedimiento

Este procedimiento es suficiente para restablecer a cierta distancia el equilibrio cromático general de la obra.

I.2.2.5.- Abstracción cromática - Selección cromática

Se trata de dos soluciones propuestas por Umberto Baldini y Ornella Casazza para la reintegración cromática de lagunas; la



aplicación de uno u otro sistema está relacionado con el tamaño y la situación de éstas en la superficie pictórica original.

Selección cromática

La *selección cromática* se realiza cuando es posible establecer una unión cromática o formal, o bien, cromática y formal, entre la laguna y el color circundante, sin que se produzca en ningún caso una actuación arbitraria que derive en un acto de imitación o falsificación (Casazza, 1992:30).

Abstracción cromática

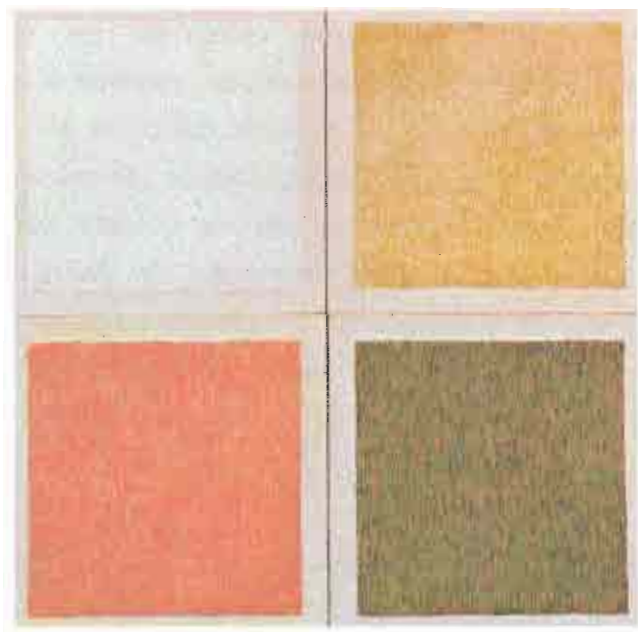
La *abstracción cromática* se aplica cuando por la localización o extensión de la laguna, no es posible realizar una selección cromática sin caer en una actuación interpretativa o arbitraria, como por ejemplo, una laguna importante circundada de varios colores (Baldini, 1983:36; Casazza, 1992:65; Ciatti, 1990:60).

Procedimiento

Las técnicas de selección y abstracción cromática se sirven de pequeños trazos aplicados en varias capas de color superpuestos a cobertura, de modo que una parte de cada uno de los colores parciales esté siempre visible (incida en el ojo de forma pura) y otra parte se mezcle combinándose con los colores adyacentes y subyacentes.

El método consiste básicamente en una progresión, como se muestra en la figuras I.4 y I.5. Durante la primera etapa se aplican una serie de trazos puros monocromos correspondientes al primer color. En la segunda se disponen los trazos puros del segundo color, de manera que una parte de los mismos muestran, por transparencia, el resultado de su mezcla con los trazos del primer color. De igual modo, en la tercera etapa se aplican los trazos puros del tercer color; una parte de éstos muestra el color puro y otra correspondería a un color compuesto, resultado de su mezcla con el primero y el segundo color (Baldini, 1988:54-55; Casazza, 1992:29-32).

Fig. I.4. Muestra del proceso de reintegración del oro según el método de selección cromática. El color amarillo estaría en relación con el color que define al oro, el rojo en relación con color cálido del bol y el verde en relación al color frío de su transparencia (Baldini, 1988:92, 174).



La abstracción cromática difiere en su ejecución de la selección en que los trazos son realizados entrelazando las pinceladas ligeramente oblicuas de la segunda etapa a la última (Fig. I.5); de esta forma se consigue un entramado de signo homogéneo y variado de colores superpuestos (Casazza, 1992:69).

*Abstracción
cromática:
ejecución*

Fig. I.5. Ejemplo del proceso de abstracción cromática por sucesiva yuxtaposición de diversos trazos de colores; el tejido pictórico final presenta una vibración cromática dinámica (Baldini, 1988: 91, 173).



*Selección
cromática:
ejecución*

En la selección cromática los trazos deben ser lo más homogéneos posibles, con un trazado acorde con la representación pictórica original; se procede del color más claro al más oscuro en las distintas etapas de disposición de los colores (Casazza, 1992:36). Para la unión de la laguna con los colores adyacentes se deberá realizar primero un análisis cromático de éstos, con el fin de obtener la selección adecuada de los distintos colores a través de los cuales, una vez aplicados en la laguna, ésta pueda alcanzar la identidad cromática que sirva de nexo de unión respecto al color adyacente (Casazza, 1992:34).

En las obras en las que se efectúa la abstracción cromática, la unión de las lagunas se hace con un tono neutro general (Fig. I.6), que debe contener de forma separada los valores medios de los colores existentes en la obra y ser capaz de asumir valor "cero" (Baldini y Casazza, s.a.; Casazza, 1992:66); este aspecto es bastante relativo y cuestionado pues, como se ha citado, la interacción del color es un hecho determinante en los resultados cromáticos de la reintegración efectuada.

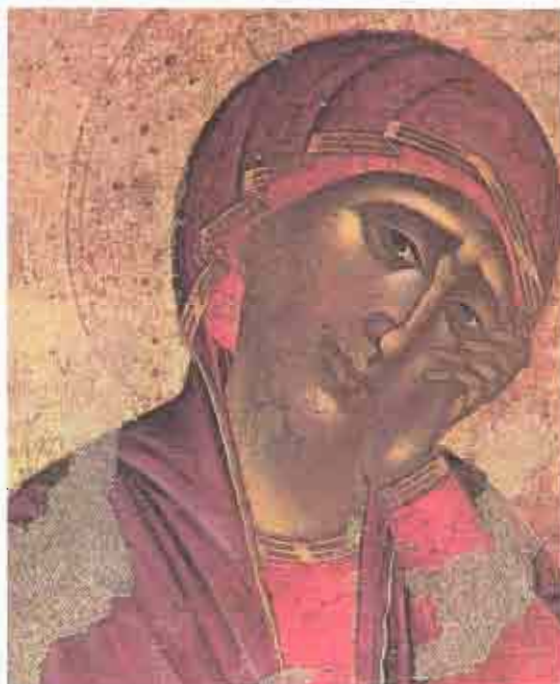


Fig. I.6. Fragmento correspondiente a la obra del *Cristo de Cimabue*, reintegrada mediante la técnica de abstracción cromática (Baldini y Casazza, s.a:123).

El resultado de la abstracción y selección cromática aplicado en las lagunas, es percibido por el ojo como una vibración cromática dinámica, producto de la mezcla óptica y cromática que se genera en las diversas etapas de superposición de colores realizadas.

I.3.- EXIGENCIAS TÉCNICAS

En la actualidad, el objetivo que se intenta conseguir con la reintegración es devolver a la obra su legibilidad desde un punto de vista estético, pero salvaguardando al mismo tiempo los valores documentales que lleva implícitos; para ello, la intervención está sujeta a una serie de principios éticos considerados fundamentales (Brandi, 1993:75; Buces 1991:461; Legorburu, 1995:256-257, 267; Macarrón, 1995:183; Pincas, 1991:293); entre ellos cabe citar los siguientes:

Principios

- Deberá *limitarse estrictamente al área* que comprende el contorno de las lagunas, sin exceder sus bordes ni invadir las zonas de pintura original.
- *No deberá ser hipotética o por analogía*, con objeto de evitar falsificaciones o confusiones miméticas. Este aspecto no se cumple de forma íntegra en el tipo de reintegración invisible o ilusionista, siendo éste uno de los motivos por el que se cuestiona la aplicación de este sistema.
- Deberá ser *fácilmente identificable o reconocible*⁹.
- Deberá ser *reversible*¹⁰, es decir, debe poder eliminarse con facilidad cuando interese, sin que esto suponga un peligro para

⁹ Es a partir de mediados del siglo actual, 1940-1945, cuando se exige en toda intervención de restauración los principios de legibilidad, reversibilidad y estabilidad.

¹⁰ Bergeon (1996:26), define dos tipos de reversibilidad: una *física*, que implica la posibilidad física de extraer la materia aplicada, y otra *química*, significa que si la materia es disuelta para ser aplicada, permanezca soluble en el disolvente utilizado.

la pintura original adyacente; esto conlleva la elección de materiales más endebles que el original.

- Se deberán *utilizar materiales estables* que sean permanentes en su envejecimiento e inocuos con respecto a la materia original; por tanto, antes de su utilización estarán suficientemente probados.
- Deberá *documentarse exhaustivamente la intervención efectuada*.

Técnicas de ejecución

Las técnicas pictóricas utilizadas en la ejecución de los distintos sistemas de reintegración revisados son varias; por lo que se hace necesario conocer las ventajas e inconvenientes que cada una de ellas presenta, con el fin de poder determinar su mejor adaptación al procedimiento de reintegración elegido, así como a la propia técnica pictórica utilizada en la obra.

Aglutinante

Con independencia del sistema de reintegración adoptado, en la selección del aglutinante a utilizar, además de las características generales de estabilidad y reversibilidad, es necesario valorar una serie de propiedades (Scicolone, 1993:113-114):

- Debe ser capaz de *formar una película elástica* que conserve sus propiedades iniciales de flexibilidad, con el fin de evitar la aparición de craqueladuras.
- *No debe generar reacciones de incompatibilidad* con los pigmentos que aglutina.
- Es necesario que el *componente volátil no presente problemas de retención*, a fin de que el aglutinante tenga la máxima eficacia.

- El grado de volatilidad del disolvente deberá permitir una *aplicación cómoda*.
- Por último, es necesario considerar la *viscosidad del aglutinante*, la cual variará en función del grado de dilución y de la naturaleza de sus componentes. Esta propiedad influye en la facilidad de aplicación de los trazos o capas.

En relación a los pigmentos, deben utilizarse los considerados más puros y estables, con el fin de evitar posibles alteraciones futuras.

Pigmentos

En comparación con otras técnicas, la acuarela¹¹ presenta las ventajas de secar rápidamente, conservar su solubilidad en agua, no amarillear con el paso del tiempo y, debido a su resistencia a los disolventes orgánicos, permitir la eliminación del barniz posterior. Por otra parte, como inconvenientes se encuentran su falta de elasticidad, la susceptibilidad al crecimiento de microorganismos y la variación notable del color en el barnizado (Gómez, 1994:161; Legorburu, 1995:267-269; Pincas, 1991:293). El aspecto óptico de la mayoría de las pinturas murales al fresco se adecua a los resultados obtenidos con la reintegración efectuada con acuarela.

Acuarela

Ventajas

Inconvenientes

La técnica al óleo no debe ser utilizada por razones de reversibilidad y estabilidad, en cuanto que presenta tiempos y características de envejecimiento negativos y, por lo general, tratarse de la misma técnica pictórica que en su origen se utilizó para realizar las obras.

Otra técnica pictórica que, según Lank (1990:156-157), puede emplearse en la mayoría de los sistemas de reintegración e incluso preferible a la acuarela, es el temple al huevo; una vez barnizado tiene

*Temple al
huevo*

¹¹ La acuarela utiliza como aglutinante gomas vegetales como la goma arábica o tragacanto (polisacáridos).

la apariencia de una pintura al óleo oxidada¹², lo que supone una ventaja para la reintegración de este tipo de obras.

*Resinas
terpénicas*

El empleo de resinas terpénicas es poco recomendable, ya que sus propiedades mecánicas no son lo suficientemente estables, pierden solubilidad y amarillean con el paso del tiempo; comportamiento que ha quedado constatado en la restauración de obras antiguas en las que fueron utilizadas. Los mismos inconveniente presentan las resinas de policiclohexanona, actualmente muy utilizadas en la elaboración de barnices artísticos (Calvo, 1997:189; Gómez, 1994:161; Legorburu, 1995:271-273; San Andrés *et al.*, 1995:96).

*Resinas de
policiclohe-
xanona*

*Alcohol de
polivinilo*

El alcohol de polivinilo utilizado como aglutinante para la reintegración, tiene como ventajas su solubilidad en medio acuoso y la posibilidad de formar películas elásticas y resistentes a la luz; sin embargo, presenta como inconvenientes la pérdida de solubilidad con el envejecimiento, en presencia de luz o calor (Horie, 1994:97; Kühn, 1986:162)

*Resinas
acrílicas y
vinílicas*

Por último, señalar la utilización de resinas de poliacetatos de vinilo y las resinas acrílicas; en comparación con las resinas naturales, presentan unas mejores propiedades mecánicas y ópticas de envejecimiento y tienen como ventaja su posible utilización en dispersiones acuosas.

*Poliacetatos
de vinilo
versus
Resinas
acrílicas*

Frente a las resinas acrílicas, los poliacetatos de vinilo ofertados por el mercado actualmente, presentan peores propiedades de envejecimiento, entre ellas, una menor flexibilidad y un mayor amarilleamiento que incluso puede llegar a ser el doble (Down *et al.*, 1996:34-39). Dentro de la gama de resinas acrílicas, la más utilizada es

¹² Contrario a lo que la experiencia demuestra, Lank (1990:157) cita como ventaja de este sistema su reversibilidad, pudiéndose eliminar la reintegración efectuada, después de muchos años, mediante la utilización de agua y un disolvente orgánico como white spirit; quizás la afirmación de Lank se debe a que el temple al huevo es utilizado en una proporción muy diluida (50%), y por otra parte, su aplicación se hace sobre una fina capa de barniz reversible.

el Paraloid® B-72,¹³ debido en parte a su solubilidad y estabilidad; se trata de un copolímero de metacrilato de etilo y acrilato de metilo. En general, las resinas acrílicas son fáciles de manipular tanto en veladuras como en capas cubrientes y permiten una rápida superposición de estratos gracias a su rápido secado (Gómez, 1994:161-162; Legorburu, 1995:273-276; Pincas, 1991:294; Ruhemann, 1968:254-255).

No obstante, existe la posibilidad de combinar varias técnicas; por ejemplo, se puede realizar una primera entonación con acuarela y un acabado final con una técnica a base de una resina sintética (Calvo, 1997:189; Gómez, 1994:162).

*Combinación
de varias
técnicas*

I.4.- ASPECTOS CROMÁTICOS

Con carácter previo, es necesario señalar que el color es el elemento más relativo de los medios que emplea el arte. Al efectuar la reintegración hay que partir del hecho de que en la percepción visual, el color se ve muy pocas veces como es en realidad, como es físicamente; por tanto deberá tenerse en cuenta que un mismo color puede evocar varias lecturas.

*Relatividad del
color*

La reintegración suele iniciarse con un barnizado previo de todo el cuadro, utilizando para ello un barniz específico de retoques¹⁴, esta fina y regular capa de barniz cumple dos objetivos:

*Barniz de
retoques*

- a) *Facilitar la posterior igualación del color*, ya que es muy difícil la reintegración entonada con el original sin una intensificación previa de sus colores.

¹³ El Paraloid® B-72 químicamente es un copolímero de metacrilato de etilo / acrilato de metilo en la proporción 70/30; es producido por ROHM and HAAS, Rohm & Haas Co., Independence Mall West, Philadelphia, Pa. 19105, (Estados Unidos de América).

¹⁴ Según Pincas (1991:296), los barnices de retoque que se comercializan, están constituidos a base de resinas cetónicas o de resinas de polimetacrilato de isobutilo, con un índice de refracción similar al de las resinas de origen vegetal como la dammar o resina mastic.

- b) *Aislar el original* de todas las posteriores intervenciones que se realicen; de esta forma, si fuera necesario, es posible proceder a la eliminación de las reintegraciones efectuadas, sin riesgo para el original.

Ejecución

El color no debe utilizarse en exceso, únicamente la cantidad suficiente para ocultar el estuco subyacente; de esta manera se evita una acumulación de pigmento que impediría obtener la transparencia deseada. Por superposición de tonalidades o en veladuras, los colores han de ser preparados con suma limpieza (Doerner, 1991:291-292). En la mayoría de los sistemas de reintegración *tratteggio* o *rigattino*, puntillismo, abstracción y selección cromática, no es conveniente utilizar más de tres colores en la obtención de un color final, ni realizar mezclas antes de su aplicación; el incumplimiento de estas observaciones irá en detrimento de la vibración del color resultante, que no armonizara cromáticamente con el color circundante a reproducir.

*Vibración
cromática*

En la intervención se parte del color blanco del estuco, por lo que se deberá jugar con la luminosidad que éste aporta, excluyéndose el uso de pigmento blanco adicional, ya que altera y rebaja la transparencia de los restantes colores; su utilización produce una sensación de colores *sucios*, *acromáticos* y, por lo tanto, no idóneos al tipo de pureza que se persigue como objetivo esencial (Casazza, 1992:30).

*Alteraciones
cromáticas*

Las posibles alteraciones cromáticas, surgidas con el envejecimiento de los materiales utilizados, hacen que una reintegración que inicialmente fue realizada de forma correcta, con el transcurso del tiempo aparezca cromáticamente desequilibrada. Con el fin de evitar estas posibles alteraciones cromáticas, deben emplearse pigmentos puros y sin mezcla alguna; no obstante, si fuera necesario mezclarlos, debe restringirse el número de ellos con objeto de disminuir posibles riesgos durante la evolución de la reintegración (Bergeon, 1996:21; Pincas, 1991:293).

El desarrollo del proceso de reintegración debe realizarse bajo una serie de condiciones lumínicas específicas, tanto en su aspecto cromático como en intensidad.

Algunos estudios realizados en este sentido, consideran la conveniencia de realizar la observación de los originales de color en unas condiciones lumínicas determinadas, ya que su valoración correcta es fundamental. La respuesta cromática de colorantes y pigmentos varía según sean las condiciones de iluminación, por lo que resulta imprescindible mantener una iluminación normalizada durante todo el proceso.

*Condiciones
lumínicas*

Se considera que la fuente de luz más adecuada para este tipo de trabajo es la que posee un buen rendimiento de color¹⁵, en concreto semejante al emitido por la fuente de iluminación natural de la luz media del día (Küppers, 1994:9-10; Ruhemann, 1968:251; Staniforth, 1985:101; Thomson, 1986:207). En relación a estas características, se utiliza el iluminante normalizado D65, correspondiente a un espectro de emisión continuo¹⁶ y a una temperatura de color de 6.500° K. Este tipo de iluminante permite establecer una mayor diferenciación entre las zonas roja y azul del espectro. Así, se puede considerar este tipo de iluminación la más adecuada para desarrollar el proceso de reintegración. Dentro de los distintos tipos de iluminación artificial próximos a las características definidas, están entre otras, las lámparas

¹⁵ El rendimiento de color relaciona la apariencia cromática que una fuente de iluminación determinada provoca sobre un objeto, respecto a la obtenida con una fuente de iluminación patrón. Así, una fuente de iluminación presenta un buen rendimiento de color cuando la apariencia cromática del objeto iluminado es semejante a la obtenida bajo la fuente de iluminación patrón, en este caso del iluminante D65.

¹⁶ Se denomina espectro continuo de una luz emitida cuando, apreciada a través de sus componentes monocromáticos, éstos son adyacentes y emergen imperceptiblemente uno de otro, estando representadas con un valor apreciable todas las longitudes de onda. Sin embargo, en un espectro discontinuo o de líneas, las longitudes de onda son relativamente pocas y específicas.

fluorescentes¹⁷; presentan diferentes espectros de emisión según las sustancias fosforescentes empleadas en su elaboración¹⁸.

Metamerismo

Una vez efectuado el proceso de reintegración bajo una fuente lumínica de una temperatura de color concreta, la observación posterior de la obra ya reintegrada con otra fuente de iluminación cuya temperatura de color sea distinta a la utilizada durante la reintegración, en algunos casos puede evidenciar la existencia de desajustes cromáticos, que durante su ejecución no se percibían; esto es debido a los posibles colores metámeros existentes en la obra¹⁹ (Bergeon, 1996:21; James, 1991:221; Roire, 1988:64-68; Staniforth, 1985:101; Thomson, 1986:53).

Teoría del color

El conocimiento de la teoría del color encuentra una aplicación directa y fundamental en el aspecto cromático de la reintegración, ya que su aplicación hace posible reintegrar cualquier color a partir de sus características y componentes; estos datos permiten reproducir en el ojo el efecto de dicho color. Los colores base componentes del color a reintegrar, así como sus proporciones, no son conocidos *a priori* por el restaurador; son determinados, generalmente, bien mediante ensayos previos o tentativas, o bien rectificando durante la propia intervención. Esto supone una tarea laboriosa y su resultado es difícil de prever; no obstante, hay que señalar que el proceso de reintegración se verá

¹⁷ Las lámparas fluorescentes presentan relativamente, un débil espectro continuo del que emerge una fuerte radiación en ciertos puntos o bandas del espectro. Thomson (1986:54), describe algunas lámparas fluorescentes que presentan un buen rendimiento de color.

¹⁸ Por lo general, se obtiene un buen rendimiento de color usando una combinación de distintas lámparas fluorescentes, de manera que se compense los posibles carencias de emisión que tienen por separado (Kühn, 1986:146).

¹⁹ Staniforth (1985:102), pone como ejemplo una obra reintegrada en un estudio bajo una iluminación de luz día y vista después con iluminación de tungsteno. Los posibles colores metámeros existentes presentarán diferentes emisiones en las longitudes de onda largas (roja) del espectro. Esto es debido a que la luz de tungsteno emite relativamente en mayor grado en las longitudes de onda largas que la luz día y, por lo tanto, destacara más esta zona espectral de radiación. Así, una igualación metamérica realizada bajo luz día con una reflectancia en las longitudes de onda largas mayor que la pintura original, parecerá más rojiza bajo una iluminación de tungsteno.

favorecido según el dominio que el restaurador tenga de los fundamentos del color.

Por lo general, la ejecución de las técnicas de reintegración se basan en síntesis o mezclas cromáticas, como son la mezcla sustractiva y óptica.

*Leyes de
mezcla
cromática*

La *mezcla sustractiva*²⁰ tiene lugar cuando coinciden o se superponen dos o más colores aplicados en forma de trazos, puntos, o veladuras; el color resultante de la síntesis es distinto a los de partida. Este proceso se desarrolla en función de la transparencia de los colores utilizados, ya que en la medida que los colores empleados sean menos transparentes, surgen fenómenos de difusión además de absorción²¹; en este segundo caso, el proceso se conoce como mezcla sustractiva compleja (Billmeyer, 1981:139-141), cuyos resultados son más difíciles de predecir.

*Mezcla
sustractiva*

*Mezcla
sustractiva
compleja*

La *mezcla óptica*²², también llamada mezcla espacial, es una ilusión cromática que se produce en el ojo del observador, al contemplar a una cierta distancia la reintegración efectuada con trazos o puntos. Este proceso se fundamenta en la combinación y fusión en un nuevo color, de los puntos o trazos de diferentes colores que son percibidos simultáneamente; este fenómeno es debido a que los códigos de puntos o trazos realizados, son áreas estímulares demasiado pequeñas para ser resueltas individualmente por el mosaico de células receptoras en la retina. Este efecto óptico, de mezcla de los colores en nuestra percepción, ya fue utilizado en el siglo pasado por los neo-impresionistas y, particularmente, por los puntillistas (Lacomme,

Mezcla óptica

²⁰ Este apartado se desarrolla de forma más explícita en el cap. II, ap. II.2.1.1.2. *Mezcla sustractiva*, pág. 125.

²¹ Véase cap. II, pág. 85.

²² Este apartado se desarrolla de forma más explícita en el cap. II, ap. II.2.1.1.3. *Mezcla óptica*, pág. 135.

1993:42); asimismo, también es empleado para producir efectos de sombras en aguafuertes y dibujo, en los que se logra este efecto mediante trazos más o menos próximos (Agoston, 1987:208; Arnheim, 1994:399).

*Asimilación
o contraste
invertido*

Cuando se observar la reintegración, a una distancia lo suficientemente próxima para ver la estructura de trazos o puntos individuales, se produce el efecto cromático de *asimilación*, también conocido por los términos de efecto de *difusión de Bezold* o *contraste invertido*. En base a este efecto, los colores de los trazos o puntos que se perciben parecen aproximarse entre sí y cambiar de un color a otro. Según la teoría fisiológica propuesta por Jamenson y Hurvich (1975:125-131), la explicación a este fenómeno se debe a que los campos receptores de la retina son de tamaño variable; los más estrechos tendrán la suficiente capacidad de resolución para diferenciar los puntos o trazos de diferentes colores, mientras que los más anchos abarcarán diferentes trazos o puntos. Como consecuencia de lo anterior, se producen simultáneamente dos efectos: por un lado una buena resolución de los trazos o puntos de colores y por otro una mezcla promedio de los mismos (Agoston, 1987:208-209; Arnheim, 1994:398-399).

*Contraste
simultáneo*

Otro efecto cromático es el denominado *contraste simultáneo*, que tiene lugar cuando se observa de forma global la reintegración efectuada en relación a los colores limítrofes originales; tiene especial importancia en las reintegraciones unitarias o generales (tinta neutra y abstracción cromática). Este efecto es responsable de que una misma tonalidad neutra, bajo unas condiciones de iluminación y contemplación, se aprecie cromáticamente distinta en cuanto a luminosidad y tono según sea el color adyacente; así, una determinada tonalidad sobre un fondo neutro parecerá más intensa, mientras que sobre un fondo de color aparecerá más neutral, o bien un color podrá parecer claro sobre un fondo oscuro y este mismo color, sobre un fondo claro, parecer más oscuro. Este efecto cromático es el motivo por el cual

no se consigue obtener resultados satisfactorios en las reintegraciones unitarias (tinta neutra y abstracción cromática).

En resumen, los distintos efectos cromáticos que pueden tener lugar, según la distancia de observación de una reintegración en una obra, serán los siguientes: a una distancia normal se produce la mezcla óptica de los trazos, o puntos de las áreas reintegradas; a esta misma distancia también puede producirse el fenómeno de contraste simultáneo entre el área reintegrada y el color adyacente; por último una aproximación a la obra que permita observar los detalles de la reintegración (puntos, trazos) hará posible experimentar el fenómeno de asimilación.

En los párrafos anteriores se han expuesto los efectos cromáticos que interaccionan en las sensaciones de color y que están influenciados por los colores limítrofes, sin embargo, según una serie de razones fisiológicas complejas, los estímulos cromáticos se experimentan con referencia a un mundo conocido, producto de una serie de asociaciones. Esto hace que en ocasiones un color se perciba como si avanzase y otro como si retrocediese, o bien parezca que *pese* más o menos que otro, incluso que tenga dinamismo o inmovilidad²³.

*Asociaciones
subjetivas*

El criterio dinámico de avance o retroceso en la percepción óptica del color, generalmente, se corresponde con la temperatura cromática del mismo, que establece como próximos a los colores cálidos y como lejanos a los colores fríos; no obstante, este criterio está en función del contexto en el que estén situados. De acuerdo a esta característica subjetiva, puede ocurrir que una incorrecta reintegración cromática de una laguna, visualmente parezca que está en un plano distinto al de la capa pictórica limítrofe.

²³ En relación a las características subjetivas del color, véase cap. II, ap. II.1.2.1, págs. 106, 107.

Técnicamente, la dificultad de llevar los tonos cálidos a fríos y los oscuros a claros hace recomendable iniciar la reintegración con colores fríos y claros.

Los efectos cromáticos tales como colores complementarios, contraste simultáneo y similares, que en general refuerzan la función de los colores, así como el acabado de la estructura de la superficie cobran especial importancia en la expresión plástica de la obra pictórica contemporánea (Althöfer, 1991:85). Por esta razón en estos casos es necesario efectuar un grado de reintegración más elevado, con el fin de poder hacer una correcta lectura de la obra. En este tipo de obras se acusa particularmente los defectos cromáticos que aparecen en la reintegración de estructuras matéricas no reproducibles (metales, tejidos, etc.); a esto hay que añadir la problemática general de su restauración, debido fundamentalmente a la falta de costumbre en la realización de una correcta lectura de la obra de arte contemporánea, así como al insuficiente conocimiento de los materiales utilizados por el artista (Scicolone, 1993:111-112).

II. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE REINTEGRACIÓN QUE SE PROPONE

Sumario: II.1.- Principios teóricos del color. II.1.1.- Estímulos de color-sensación cromática. II.1.1.1.- Luz. II.1.1.2.- Interacción luz-materia. II.1.1.2.1.- Reflexión. II.1.1.2.2.- Refracción. II.1.1.2.3.- Transmisión. II.1.1.2.4.- Dispersión. II.1.1.2.5.- Absorción. II.1.1.2.6.- Difracción. II.1.1.3.- Percepción luz-color. II.1.2.- Características y especificación del color. II.1.2.1.- Características subjetivas del color. II.1.2.2.- Características objetivas del color. II.1.2.3.- Especificación del color. II.1.2.3.1.- Cubo de Hickethier. II.1.2.3.2.- Sistema CIE. II.2.- Reproducción del color. II.2.1.- Principios básicos de la reproducción del color. II.2.1.1.- Leyes de mezcla cromática. II.2.1.1.1.- Mezcla aditiva. II.2.1.1.2.- Mezcla sustractiva. II.2.1.1.3.- Mezcla óptica. II.2.2.- Aspectos técnicos. II.2.2.1.- Función del soporte. II.2.2.2.- Función de los pigmentos. II.2.2.3.- Función de los puntos de medio tono. II.2.2.3.1.- Forma de los puntos. II.2.2.3.2.- Tamaño de los puntos. II.2.2.3.3.- Espaciado entre los puntos. II.2.2.3.4.- Distribución de los puntos. II.2.2.3.5.- Orientación de los puntos. II.2.2.3.6.- Percepción cromática de un diseño de puntos. II.2.2.3.7.- Fondos Tramados Transferibles (FTT).

II

Fundamentos del sistema de reintegración que se propone

Las bases teóricas del Sistema de Reintegración Cromática Asistido por Medios Transferibles (SIRECRAMT) se establecen, con carácter general, de acuerdo con los fundamentos utilizados en la reproducción del color en el campo de las artes gráficas y, más concretamente, en la reproducción del color por tricromía. Básicamente consiste en analizar el color a reproducir en base a unos colores determinados, para su posterior restitución por mezcla óptica en el órgano visual del observador; en cierto modo puede relacionarse con el principio de la pintura neo-impressionista²⁴.

*Fundamentos
generales*

Tanto los principios teóricos del SIRECRAMT como su finalidad, son básicamente los mismos que los correspondientes a los

²⁴ Señalar que en la técnica de los impresionistas básicamente se pretende obtener una impresión cromática visual a partir de la mezcla aditiva de las radiaciones luminosas emitidas por distintos toques de colores puros yuxtapuestos (Carson, 1944:5), sin embargo, en la reproducción del color en las artes gráficas además de la mezcla aditiva se produce también, en el área de la imagen donde los puntos de color se superponen, una mezcla sustractiva del color.

sistemas de reintegración visible²⁵ (*trateggio* o *rigattino*, puntillismo), si bien difiere en los medios utilizados para su desarrollo y en su metodología de aplicación.

Puesto que los fundamentos de este sistema giran en torno al color, como materia susceptible de ser reproducida, es necesario considerar en primer lugar los aspectos cromáticos que delimitan esta finalidad, así como los principios teóricos por los que se rige.

II.1.- PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL COLOR

El conocimiento de ciertas consideraciones básicas de los aspectos físicos y fisiológicos del color, permiten disponer de una teoría útil aplicable en su reproducción; por esta razón en el presente apartado serán analizadas estas cuestiones. Sin embargo, puesto que el estudio del color en sí mismo es un tema muy complejo, y por otro lado no es objetivo principal de esta investigación, en esta Memoria únicamente se considerarán aquellos aspectos fundamentales de la teoría del color, que permitan entender su reproducción en relación al SIRECRAMT.

*Color:
sensación*

El color no es algo constante ni objetivamente tangible. Por principio, el color no es más que una sensación experimentada a través del órgano visual del observador. Asimismo, los colores de los objetos, también denominados *colores materiales*, están sometidos a constantes cambios: cambian de aspecto según la luz de cada momento y según su situación con respecto a la del observador; este comportamiento es debido a que el órgano de la vista posee una sorprendente capacidad de adaptación a los cambios de iluminación y a las condiciones de observación.

El color, en sentido estricto, es única y exclusivamente una *sensación* de color, producida por el órgano de la vista. Teniendo en

²⁵ Véase cap. I, ap. I.2.2. *Reintegración visible*, págs. 42, 43.

cuenta que las sensaciones no son objetivamente cuantificables, la ciencia ha optado por referirse a un aspecto físico: los llamados *estímulos de color*, que son definidos por los rayos luminosos²⁶ o, más concretamente, por las longitudes de onda del espectro, como transmisores o portadores de información; señalar que únicamente después de que el órgano visual haya efectuado la transformación correspondiente puede aparecer la información propiamente dicha de sensación de color. Según esto y como menciona Küppers (1992:22, 24), resultaría imposible querer deducir las relaciones entre la reproducción del color y las leyes de la mezcla de los colores sólo por medio del estudio del estímulo de color, es decir, sólo por el estudio de la radiación electromagnética visible que incide en la retina.

*Estímulos de color:
transmisores
de información*

II.1.1.- Estímulos de color - Sensación cromática

En primer lugar, para hablar del color se deben considerar por un lado, acciones físicas, tales como la producción de estímulos en forma de luz y, por otra parte, resultados subjetivos, como es el hecho de recibir e interpretar ese estímulo en el órgano visual y en el cerebro; por ello se dice que el color existe solamente en la mente del observador.

Desde un punto de vista físico, para que el color se produzca es necesario la existencia de tres elementos: una fuente de luz, un objeto iluminado y la conjunción del ojo y del cerebro para su percepción (Billmeyer y Saltzman, 1981:2; Palazzi, 1995:30). La deducción de estos tres componentes principales surgieron, de manera evolutiva, según los planteamientos de los tres pioneros de la teoría del color. Newton, en la segunda mitad del siglo XVII, describió los colores como producto de las propiedades de los rayos que componen las fuentes luminosas. Un siglo después, Goethe introdujo las condiciones exteriores a la luz como factores responsables de la producción de

*Fuente de luz,
objeto y
observador*

Newton

Goethe

²⁶ Rayo luminoso es la trayectoria (línea geométrica) que sigue la luz al ir de un foco luminoso a un receptor, su dirección coincide con la de propagación de la energía radiante.

Schopenhauer

fenómenos cromáticos; estableció la aportación de los medios y superficies materiales que encuentra la luz en su recorrido desde su fuente de origen hasta el órgano visual del observador. Finalmente, Schopenhauer, discípulo de Goethe, propuso una tesis²⁷ sobre la función de las respuestas retinianas del órgano visual en la creación de la experiencia cromática (Arnheim, 1994:371-372).

II.1.1.1.- Luz

Propagación

La luz se define como una forma de energía radiante electromagnética. Los fenómenos de propagación de la luz se explican por la teoría ondulatoria, mientras los fenómenos de absorción y emisión de la luz, que aparecen como consecuencia de su interacción con la materia, encuentran su mejor explicación dentro de la teoría corpuscular.. Los rayos de luz transportan energía en pequeñas unidades, denominadas *cuantos* o *fotones*²⁸. Así pues, se dice que la luz es una radiación energética que puede ser considerada unas veces bajo su aspecto vibratorio y otras bajo su aspecto corpuscular, lo uno común a lo otro y estrictamente indisoluble.

La propagación de la luz como movimiento ondulatorio (Fig. II.1), se caracteriza por dos aspectos: la longitud de onda²⁹ (λ) y la frecuencia³⁰ (ν). Las ondas se diferencian entre sí por su longitud de onda definida esta magnitud como la distancia existente entre dos puntos de la onda que están en concordancia de fase.

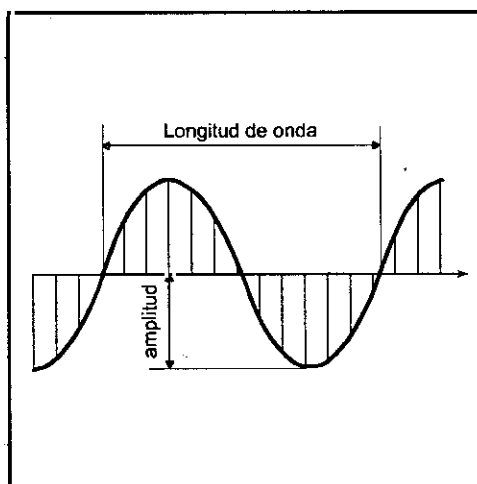
²⁷ Esta tesis de Schopenhauer encontró su desarrollo científico con Hermann Helmholtz en su cromatología fisiológica, que estudia los procesos fotoquímicos que se dan en las células de la retina.

²⁸ Un fotón es, por definición, la mínima cantidad de energía transmitida por una radiación electromagnética de una longitud de onda dada.

²⁹ La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos puntos de onda que estén en concordancia de fase, es decir, representa la distancia recorrida por la radiación para que vuelva exactamente al mismo estado energético; esta magnitud caracteriza todo movimiento vibratorio.

³⁰ La frecuencia (ν) corresponde al número de vibraciones producidas por la onda electromagnética en la unidad de tiempo, es decir, el número de ondas que pasan por un punto en un segundo: $\nu = n^\circ$ de ondas / s. La unidad de frecuencia es el *hertz* (Hz).

Fig. II.1. Forma de la onda de luz. Longitud de onda: color dominante. Amplitud: intensidad luminosa.



La velocidad de propagación de la onda (c) está determinada por su longitud de onda y su frecuencia, según la ecuación:

Velocidad de propagación

$$c = \lambda \nu \quad (\text{II.1})$$

La experiencia demuestra que la velocidad (c) de una energía radiante varía según el medio en el que se propaga. En el vacío, la velocidad de la luz es una constante universal (c_0) cuyo valor es $2,997\,925 \times 10^8$ m/s, mientras que en un medio material disminuye, lo que implica que, teniendo en cuenta la ecuación II.1, disminuirá la longitud de onda de la luz, su frecuencia o ambas.

Ya que la longitud de onda se puede medir más fácilmente que la frecuencia, se ha convenido en recurrir a la longitud de onda medida en el vacío para identificar una determinada radiación luminosa.

El color dominante de una radiación está determinado por su longitud de onda, mientras que la intensidad luminosa es directamente proporcional a la amplitud, es decir, a la altura de la onda (Fig. II.1).

Color e intensidad de la radiación

Unidades

Como se acaba de señalar, cada uno de los colores puede ser aislado o reconocido por su longitud de onda, la cual puede expresarse en milimicrones ($m\mu$), nanómetros (nm) o bien Angström³¹ (Å). Los nanómetros o milimicrones son las unidades de uso más común para describir la longitud de onda dentro del espectro de radiación visible y ultravioleta (Skoog y West, 1989:99), y serán las utilizadas en esta Memoria.

*Espectro
electromag-
nético*

El espectro electromagnético está formado por el conjunto de todas las ondas conocidas que se extienden por el universo, pudiendo variar desde los rayos gamma, de cortísima longitud de onda: $\lambda = 10^3$ nm, a las ondas hertzianas, de una longitud de onda de decenas de kilómetros ($\lambda = 10^{13}$ nm).

*Espectro
visible*

La relativa sensibilidad del órgano visual humano limita la parte visible del espectro electromagnético a una banda de longitudes de onda comprendidas entre 380 y 750 nm, (Billmeyer y Saltzman, 1981:4; Kaiser y Boynton, 1996:61), si bien, otros autores establecen estos valores entre 400 y 700 nm (Astrua, 1982:115; Burden, 1978:57; Nassau, 1997:5).

El sector visible del espectro electromagnético va precedido en sus extremos por las radiaciones ultravioletas y por las infrarrojas; ambas, al ser invisibles, no deben ser designadas bajo el término de *luz*.

Por tanto, la luz puede definirse como la clase de energía radiante -aspecto objetivo o físico- visible al ojo humano -aspecto subjetivo o psíquico-, por consiguiente puede considerarse como un fenómeno psico-físico.

Cuando todas las longitudes de onda desde los 400 a 700 nm, es decir, las ondas electromagnéticas ópticas o visibles, estimulan

³¹ Tanto un milimicrón ($m\mu$) como un nanómetro (nm) equivalen ambos a 10^{-6} mm, y un Anström (Å) a 10^{-7} mm.

simultáneamente y con la misma intensidad el ojo humano, se percibe la luz "blanca" o incolora, si bien en la práctica tales luces no existen exactamente (Palazzi, 1995:15). Este espectro, en el que ninguna frecuencia o longitud de onda predomina por su intensidad, recibe también el nombre de radiación de espectro o espectro equienergético (Küppers, 1992:128).

*Espectro
equienergético*

Sin embargo, cuando el ojo recibe solamente una parte del espectro visible, es decir, unas determinadas longitudes de onda, entonces surge la sensación de luz coloreada. En el caso de que todas las ondas simples que componen la luz tengan la misma frecuencia o longitud de onda, se denominará monocromática.

Luz cromática

La composición espectral de la luz blanca puede comprobarse experimentalmente, como ya lo hiciera Newton a comienzos del siglo XVIII, descomponiendo un rayo de luz (400-700 nm) en los distintos colores (longitudes de onda) del espectro visible³².

A partir de la observación de los colores componentes del espectro visible, se puede considerar la existencia de tres regiones principales: azul (por debajo de los 480 nm), verde (entre 480 y 560 nm) y roja (longitudes de onda mayores de 630 nm) (Billmeyer y Saltzman, 1981:4); según otros autores, los valores de longitud de onda que delimitan estas tres regiones varían dentro de otro intervalo³³. Señalar que esta división únicamente se tiene en cuenta al objeto de disponer de una nomenclatura práctica, al existir un número indefinido de colores en el espectro.

*Regiones
espectrales
principales:
azul, verde y
roja*

³² Este procedimiento consiste en incidir con un rayo de luz con un ángulo agudo sobre un prisma equilátero de cristal, el cual provoca la dispersión del rayo emergente en diferentes colores (longitudes de onda) desde el rojo oscuro al azul violeta, fusionándose cada color imperceptiblemente con el siguiente. Este experimento se convirtió en la forma clásica de producir un espectro (colores visibles).

³³ Astrua (1982:116) sitúa los valores entre 400 y 500 nm para la luz azul; entre 500 y 600 nm para la luz verde y entre 600 y 700 nm para la luz roja. Por otra parte, Hunt (1957:36) distribuye estas tres partes en: longitudes de onda por encima de 580 nm correspondientes a toda la parte roja; longitudes de onda comprendidas entre 490 y 580 nm, que contiene la parte verde y las longitudes de onda menores de 490 nm, para la parte azul.

Energía de radiación La cantidad de energía (E) de un cuanto o fotón es directamente proporcional a la frecuencia (ν) e inversamente proporcional a la longitud de onda (λ), como se deduce a partir de la formula:³⁴

$$E = h \nu = h c / \lambda \quad (\text{II.2})$$

Por tanto las tres regiones en que se puede dividir el espectro visible, presentarán distinto contenido energético; concretamente la luz azul, con su corta longitud de onda, contiene más energía que la luz roja.

Por otra parte, volviendo a la triada formulada para la generación de un color: fuente de luz, objeto y observador, señalar la trascendencia del primer elemento. Para la definición de un color determinado, tiene una importancia decisiva la especificación exacta de la iluminación bajo la que es observado, ya que un material puede adquirir diferentes aspectos según sean las características de la fuente de iluminación utilizada.

Rendimiento cromático En este sentido, para especificar la fuente de iluminación se habla de su *rendimiento cromático*³⁵, que relaciona la apariencia cromática provocada por ésta sobre un objeto, respecto a la obtenida con una fuente de iluminación patrón.

Naturaleza e intensidad de la luz La propiedad del rendimiento de color de una fuente de iluminación no se puede predecir por la simple inspección visual de la fuente o por el conocimiento de su color, sino que es necesario un conocimiento de la distribución espectral de la luz emitida; por ejemplo, cuando una luz se define como blanca, no se esta informando sobre la calidad de su composición espectral. Por tanto, para especificar una

³⁴ Energía (E) [erg], Constante de Planck (h) [$h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s], Velocidad de la luz (c) [$2,997 \times 10^8$ m.s⁻¹], Longitud de onda (λ), Frecuencia (ν).

³⁵ Para poder describir el rendimiento cromático de una fuente de iluminación, se utiliza el término "apariencia de color", que expresa el tono cromático que toma una superficie blanca cuando es iluminada por dicha fuente (Casas, González y Puente, 1991:81-82).

fuentes de luz se debe considerar, por un lado, *la naturaleza de la luz* emitida -cualidad- y, por otro, su *intensidad luminosa* -cantidad-.

- a) La *naturaleza de la luz* emitida viene determinada por dos factores: la distribución espectral³⁶ y la temperatura del color³⁷.

Ciertas fuentes de luz, tales como el Sol y algunas especies químicas incandescentes emiten luz blanca o próxima a ella. La naturaleza de la luz emitida por una fuente luminosa puede ser descrita a partir de su potencia relativa³⁸, la representación gráfica de la variación de esta potencia en función de la longitud de onda, tiene como resultado la curva de distribución espectral de la fuente de luz (Billmeyer y Saltzman, 1981:4). De esta manera, es posible conocer las zonas del espectro en las que la lámpara irradia y si el espectro formado es continuo, es decir, si todos los colores son adyacentes y emergen imperceptiblemente uno de otro (Fig. II.2). En el caso de que en la representación aparezcan una serie de bandas estrechas en forma de líneas paralelas cercanas y sólo en ciertas zonas, se trataría de un espectro discontinuo (Burden, 1978:65-66; Gerritsen, 1976:32-33). Siendo necesario para la reproducción del color fuentes de luz que produzcan espectros continuos, en los que la distribución cromática sea lo más uniforme posible.

*Espectro
continuo*

*Espectro
discontinuo*

³⁶ La norma UNE 54-002-73 define la distribución espectral como la variación de una determinada magnitud radiométrica en función de la longitud de onda. También se denomina *función de distribución espectral*.

³⁷ Según define la norma UNE 54-002-73, la temperatura de color es la identificación de la distribución espectral de la radiación visible emitida por un cuerpo negro cuando alcanza su temperatura absoluta.

³⁸ La potencia relativa expresa la intensidad de luz emitida en cada longitud de onda que compone el espectro visible. En inglés la potencia de distribución espectral (*spectral power distribution*) de una fuente de luz se corresponde con las siglas (SPD).

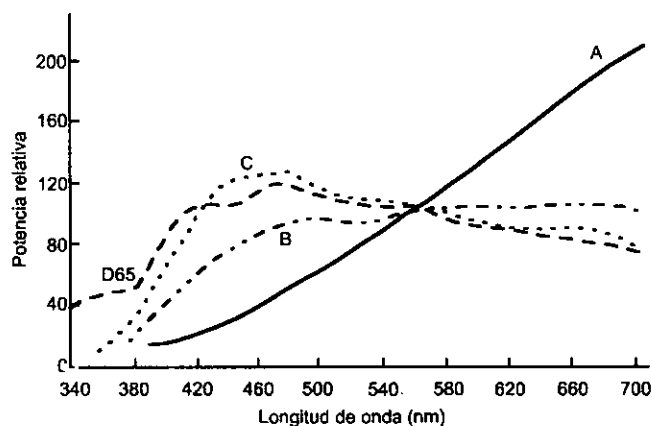


Fig. II.2. Distribución espectral de energía de los iluminantes CIE A, B, C y D65.

Temperatura de color

El concepto de temperatura de color de cualquier fuente de luz se basa en el tratamiento teórico de la radiación de un cuerpo negro³⁹. Se trata de un cuerpo que no refleja la luz que incide en su superficie, sino que absorbe todas las radiaciones que recibe y que emite radiaciones cuando es calentado hasta la incandescencia. La temperatura de color de una fuente luminosa se define como la luz que emite un cuerpo ópticamente negro cuando se calienta hasta alcanzar la temperatura necesaria para llegar a dicha emisión⁴⁰; esta temperatura se expresa en grados absolutos⁴¹. Aquellas fuentes que pueden definirse a partir de su temperatura de color producen espectros continuos (Astrua, 1982:131; Billmeyer y Saltzman, 1981:5; Burden, 1978:66).

³⁹ También denominado radiador integral o radiador planckiano.

⁴⁰ La temperatura de color tiene relación con la apariencia cromática de la fuente luminosa, no con su distribución espectral. Así, se dice que una fuente luminosa es "cálida" cuando su temperatura de color es inferior a los 3.000 °K, "fría" si su temperatura de color es superior a los 5.000 °K, y "neutra" si su temperatura está comprendida entre dichos valores (Casas, González, y Puente, 1991:82); si bien, en ningún caso se está especificando que distribución espectral tiene en las distintas longitudes de onda.

⁴¹ Se expresa en grados Kelvin, equivalentes al número de grados centígrados (°C) más 273.

- b) La *intensidad luminosa* de la luz emitida (I) viene especificada por la amplitud o altura de la onda de propagación y se expresa en candelas (cd).

En lo que respecta a su espectro de emisión, se puede considerar que la fuente luminosa más óptima para la reproducción del color es el Sol. Sin embargo, la luz solar no es "normalizada"; su distribución espectral varía dependiendo de las condiciones ambientales (partículas en suspensión)⁴², geográficas (latitud) y horarias (amanecer, atardecer). No obstante, las fuentes de luz artificial muy raramente se aproximan a su distribución espectral. La luz que emiten está compuesta solamente de algunas radiaciones visibles, o bien, de todas, pero no en la misma medida.

Para realizar una clasificación de las fuentes de luz artificial conviene dividir las en dos categorías principales (Astrua, 1982:128-131; Burden, 1978:65; Casas, González y Puente, 1991:83; Sproson, 1983:23-26; Thomson, 1986:7-10):

*Fuentes de luz
artificial:
clasificación*

- a) *Fuentes luminosas incandescentes*⁴³. La emisión de luz es el resultado de calentar mediante una corriente eléctrica hasta la incandescencia, una determinada sustancia como, por ejemplo, tungsteno. Este efecto se consigue mediante la aplicación de una corriente eléctrica; a medida que la corriente se incrementa también lo hace la temperatura de la sustancia y la luz que irradia se hace cada vez más blanca e intensa. Una variación de este tipo de fuente luminosas son las de tungsteno-halógeno.
- b) *Fuentes de descarga eléctrica*. Esta clase de iluminantes suelen consistir en un tubo de vidrio que contiene un gas inerte y un

⁴² Las partículas en suspensión (polvo, sales, polen, vapor de agua, contaminantes, etc.) producen fenómenos de reflexión, difracción y dispersión de la luz.

⁴³ También denominadas *radiadores térmicos sólidos*.

electrodo en cada extremo. La corriente eléctrica pasa a través del gas y produce luz visible o rayos ultravioleta; esta emisión de radiación se produce directamente o bien por excitación de una capa de sustancia fosforescente que recubre la pared interior del tubo de vidrio (Halstead, 1978:100-104). Dentro de este tipo, algunas lámparas fluorescentes tienen un buen rendimiento de color y presentan una mayor eficacia que las fuentes incandescentes de tungsteno (Thomson, 1986:8-9, 173).

CIE Respecto a los distintos tipos de fuentes de iluminación existentes la Comisión Internacional de Iluminación (CIE)⁴⁴, definió varios iluminantes estándar para su aplicación en relación a la valoración del color (Fig. II.2). El iluminante A, presenta una distribución espectral similar a la de una lámpara de filamento de tungsteno de una temperatura de color de 2.854° K. El iluminante B (4.800° K) y C (6.800° K), derivan del iluminante A, y son el resultado de pasar la luz a través de un filtro líquido; el iluminante B simula una temperatura de color semejante a la luz del Sol de mediodía y la fuente C, simula una temperatura de color semejante a la media de la luz día. Los iluminantes luz-día *D65* son los más utilizados; están definidos por su correspondiente distribución espectral; semejante al promedio de la luz diurna y luz del Sol, de una temperatura de color de 6.500° K (Billmeyer y Saltzman, 1981:7-8, 35; Soriano y Alcón, 1993:39).

II.1.1.2.- Interacción luz-materia

Una vez definida la radiación lumínica, el siguiente paso es considerar los fenómenos que pueden tener lugar en su desplazamiento, al ser interceptada su trayectoria por otros medios que, a su vez, van a

⁴⁴ Comission Internationale de l'Éclairage.

ser los responsables del color. Ya Goethe (1992:269) a principios del siglo XIX, consideró en su obra *Teoría de los colores*⁴⁵, que:

[...] el color es determinado a la vez por la luz y por lo que se opone a ella.

Básicamente, los cuerpos físicos se pueden dividir en luminosos o no luminosos. Los cuerpos luminosos son aquellos que emiten su propia luz que los hace visibles, mientras que los cuerpos no luminosos sólo se hacen visibles reflejando o devolviendo la luz que reciben de una fuente luminosa. El trabajo que se recoge en esta Memoria se refiere a estos últimos, y en este sentido, será necesario considerar los distintos fenómenos que pueden tener lugar, cuando la luz interacciona con este tipo de materiales; interacciones que, como ya se ha señalado, son responsables de que sean visibles.

*Cuerpos
luminosos y no
luminosos*

En geometría óptica, la luz emitida por una fuente luminosa, o rayo luminoso, se representa por un vector que indica el sentido de propagación. El estudio de la luz está basado principalmente en las desviaciones que los rayos experimentan en su dirección al variar el medio de propagación (Fig. II.3). Para definir los distintos efectos es necesario considerar que los fotones incidentes no se comportan como ondas sino como partículas y que todo material posee una capacidad de remisión de la radiación individual específica, que depende de su estructura molecular⁴⁶. De manera general se puede establecer que la luz puede ser transmitida, reflejada, absorbida, refractada, dispersada o difractada por un medio (Kaiser y Boynton, 1996:70-77; Nassau, 1997:8, 24-26). Estos fenómenos se describen a continuación:

*Fenómenos de
interacción*

⁴⁵ Corresponde al título original *Farbenlehre*, obra que redactó Goethe entre 1799 y 1810, y a la que posteriormente acompaño de trabajos complementarios sobre fenómenos cromáticos.

⁴⁶ A nivel más fundamental estos procesos pueden entenderse en términos de excitación electrónica de la materia.

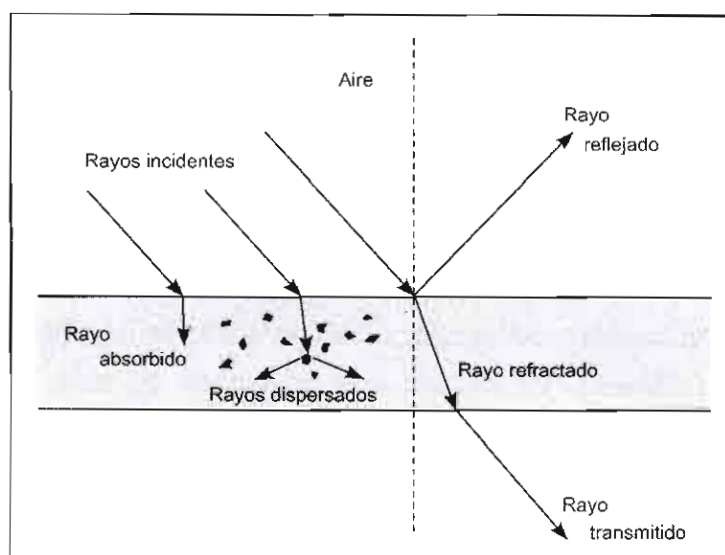


Fig. II.3. Distintas formas en que los rayos de luz interaccionan cuando encuentran un medio transparente como, por ejemplo, un cristal (Kaiser y Boynton, 1996:71).

II.1.1.2.1.- Reflexión

Mayoritariamente, los objetos son visibles debido a la capacidad que presenta su superficie para reflejar la luz. El grado en que se produce este efecto varía bastante; así un cuerpo negro refleja muy poca luz mientras que un cuerpo blanco refleja la mayor parte de la luz que incide sobre él. Asimismo, y atendiendo a sus características superficiales, una superficie plana pulimentada refleja la mayor parte de la luz de forma regular o especular, con el mismo ángulo incidente y sin ningún cambio de color; este comportamiento corresponde al de una superficie brillante. Por el contrario, las superficies mates presentan ligeras imperfecciones, responsables de que la reflexión se produzca de forma irregular o difusa y, además, tienen la capacidad para cambiar el color (Fig. II.4, II.5 y II.6).

*Reflexión
especular*

*Reflexión
difusa*

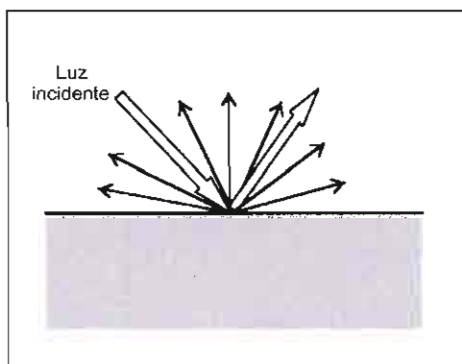


Fig. II. 4. Combinación de luz difusa y especular.

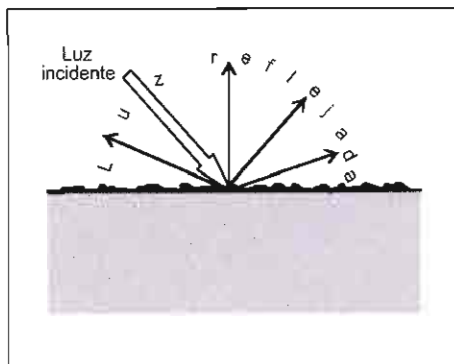


Fig. II. 5. Reflexión difusa. La luz es reflejada se produce en distintas direcciones.

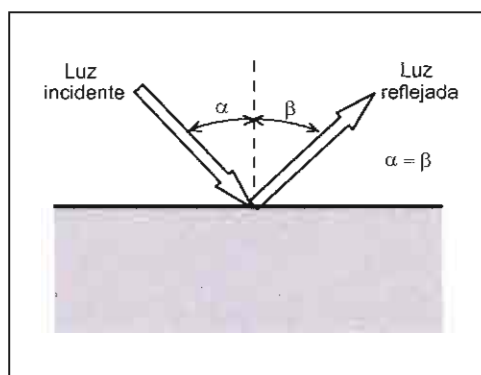


Fig. II. 6. En la reflexión especular toda la luz es reflejada en una dirección, de tal forma que los ángulos formados por el rayo de luz incidente y el reflejado con respecto a la normal a la superficie son iguales.

II.1.1.2.2.- Refracción

Este fenómeno se produce cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro de distinta densidad; el rayo de luz es desviado o refractado⁴⁷, acercándose a la normal de la superficie si pasa de un

⁴⁷ La refracción permite formar las imágenes en el ojo, concretamente en la retina.

medio menos denso a otro más denso (Fig. II.7), o alejándose, en el caso contrario. El mayor o menor grado en que se produce este efecto está determinado por el índice de refracción del medio⁴⁸ a través del cual pasa la radiación; a su vez, el índice de refracción viene definido por la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío y en el medio.

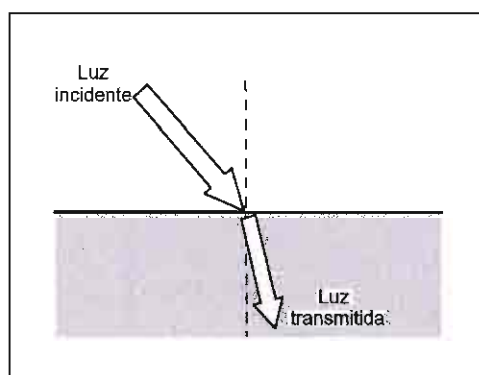


Fig. II.7. Refracción. Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro más denso, por ejemplo del aire al cristal, se desvía acercándose a la normal.

Así, cuando la luz pasa a través de dos materiales diferentes sufre un cambio en su velocidad, que tiene como resultado un cambio en la dirección de la luz. Por otra parte, el índice de refracción cambia con la longitud de onda de la luz, por lo que luces de diferente color modifican su dirección de distinta forma a su paso a través de un prisma⁴⁹.

II.1.1.2.3.- Transmisión

La propagación de la luz siempre se produce a través de algún medio; si este proceso tiene lugar sin modificaciones apreciables de las

⁴⁸ El índice de refracción se representa por la letra griega n ; este valor indica el grado de desviación que el rayo de la luz experimenta con respecto a la trayectoria original. Su expresión analítica es: $n = c / v$

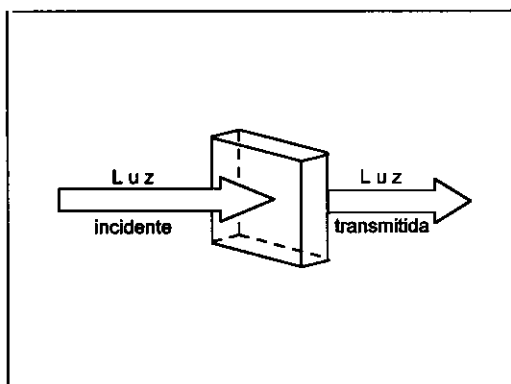
⁴⁹ Descomposición de la luz blanca a su paso a través de un prisma en las distintas longitudes de onda.

características iniciales de la luz, se dice que ésta se ha transmitido a través del medio, que a su vez se define como transparente (Fig. II.8).

Sin embargo, los medios considerados como transparentes desarrollan cierto tipo de efectos sobre la luz, ya que contienen átomos que interaccionan con los fotones; así, algunos absorben fotones, otros cambian su trayectoria de propagación, mientras que otros, no interceptan los fotones que han penetrado en el medio y en consecuencia estos no experimentan cambios en su dirección y pasan a constituir los rayos formadores de imagen; éstos son, en la mayoría de los casos, los que son importantes para la visión.

Si el medio no tiene color, toda la luz es transmitida excepto una pequeña cantidad que es reflejada por la superficie del objeto. Cuando existan cambios en el índice de refracción, además de la transmisión, se producirán fenómenos de refracción y dispersión.

Fig. II.8. Transmisión de la luz a través de un objeto transparente.



II.1.1.2.4.- Dispersión⁵⁰

Cuando la luz pasa a través de un medio que no es completamente transparente puede experimentar el fenómeno de

⁵⁰ Este fenómeno de dispersión puede entenderse como sinónimo de difusión, si bien, debe diferenciarse de la refracción dispersiva por la que la luz blanca puede descomponerse en las distintas longitudes de onda que la constituyen.

dispersión; este efecto se produce cuando existen pequeñas partículas que presentan un índice de refracción diferente al del medio de propagación. En estas condiciones, una parte de la luz que incide sobre el material es absorbida y otra parte es remitida con la misma longitud de onda, si bien en este caso la luz es propagada en diferentes direcciones; estos rayos de luz dispersados pueden llegar a perturbar la visión espacial.

Cuando las partículas dispersantes son grandes⁵¹, la dispersión producida es independiente de la longitud de onda de la luz incidente y además está concentrada en una determinada dirección de emisión; tal es el caso de la niebla y las neblinas que por esta razón vemos blancas. Sin embargo, cuando las partículas son pequeñas⁵², las radiaciones de longitud de onda corta experimentan el fenómeno de dispersión en mayor medida que las de longitud de onda larga; esta situación es la que responde a la atmósfera de un día claro y es la explicación física por la que se ve azul el cielo (Nassau, 1997:25, 27; Skoog y West, 1989:111).

*Tamaño de
partícula*

La cantidad de luz que es dispersada depende de la diferencia entre los índices de refracción de los dos medios a través de los cuales se propaga la luz; cuando ambos tienen el mismo índice de refracción, no se produce dispersión de la luz. Asimismo, como ya se ha señalado, este fenómeno está determinado por el tamaño de la partícula dispersante; a este respecto, las partículas muy pequeñas dispersan muy poca luz. Por el contrario, este efecto se incrementa con el aumento del tamaño de las partículas, hasta que éstas son aproximadamente del mismo tamaño que la longitud de onda de la luz (Billmeyer y Saltzman, 1981:11).

*Poder
cubriente*

El poder cubriente de un pigmento está íntimamente relacionado con la cantidad de luz que dispersa. Un pigmento será cubriente cuando

⁵¹ Mayores que la longitud de onda de la luz visible.

⁵² Menores que la longitud de onda de la luz visible.

su índice de refracción sea muy diferente al del medio en el que se encuentra y, además, cuando el diámetro de sus partículas sea del mismo orden que la longitud de onda de la luz. Cuando los pigmentos tienen un tamaño de partícula muy pequeño y el mismo índice de refracción que el del medio utilizado, dispersan muy poca cantidad de luz dando la sensación de ser transparentes. Por tanto, si se disminuye la diferencia entre el índice de refracción del pigmento y el del medio en el que va a ser utilizado, se pueden obtener superficies transparentes trabajando con pigmentos cuyo tamaño de partículas sea muy pequeño (Billmeyer y Saltzman, 1981:12).

Cuando parte de la luz que pasa a través de un material es dispersada y otra parte es transmitida, se dice que dicho material es translúcido (Fig. II.9); si la dispersión es tan intensa que la luz no pasa a través del material (y además va acompañada del fenómeno de absorción) se dice entonces que el material es opaco (Fig. II.10).

*Material
translucido y
opaco*

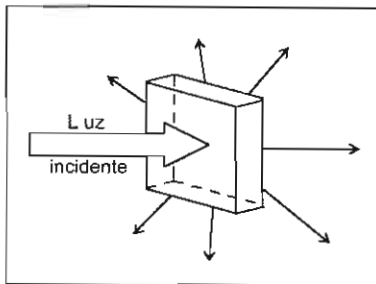


Fig. II.9. Material translúcido. Una parte de la luz es transmitida y otra parte es reflejada de forma difusa por dispersión.

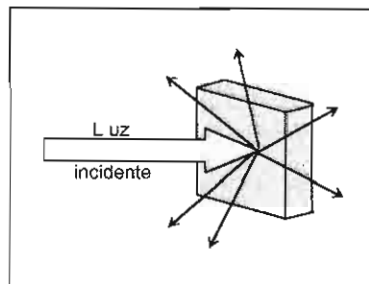


Fig. II.10. Material opaco. La luz no es transmitida, sino que es reflejada de forma difusa por dispersión.

II.1.1.2.5.- Absorción

Cuando la luz penetra en un medio, como por ejemplo un cristal oscuro, no toda ella es transmitida; una parte es dispersada, y otra absorbida por los átomos contenidos en el medio que la transforman en

energía calorífica. Lógicamente, cuanto más transparente es el medio menos absorción se produce.

*Absorción
selectiva*

La absorción que tiene lugar por parte de un material, depende de la longitud de onda de la radiación incidente, es decir, los medios son capaces de realizar una absorción selectiva: absorben los fotones de determinadas longitudes de onda⁵³. Un ejemplo que muestra este efecto consiste en proyectar una luz monocromática de 470 nm (azul) y observarla a través de un filtro, cuya máxima transmitancia⁵⁴ espectral sea de 470 nm; en estas condiciones la luz pasará a su través produciéndose una mínima absorción. Por el contrario, si el filtro utilizado tiene un máximo de transmitancia de 650 nm (rojo), la mayor parte de las longitudes de onda corta (azul) serán absorbidas.

Volviendo al ejemplo de la coloración de la bóveda celeste, la presencia de agentes contaminantes en la atmósfera hace que se produzca absorción de la radiación solar, principalmente de las radiaciones cortas (azules y violetas), por lo que la luz resultante tiende a ser más rojiza. Este mismo efecto de absorción, explica los tonos de amaneceres y puestas de Sol, en los que los rayos solares recorren mayores espesores de atmósfera que los rayos solares del mediodía, por lo que se produce un mayor grado de absorción en su espectro.

*Cuerpos
opacos y
transparentes*

Los pigmentos son especies químicas que tienen la propiedad de absorber selectivamente determinadas longitudes de onda de la luz incidente y reflejar las restantes; son éstas las que percibe nuestro órgano visual como sensación coloreada. Los pigmentos que constituyen o recubren los cuerpos, permiten clasificarlos en dos grandes grupos: opacos y transparentes. Los primeros reflejan y los

⁵³ Una definición más específica del fenómeno de absorción relacionado con los grupos funcionales de las especies químicas, puede encontrarse en el libro de D. A. Skoog y D. M. West, *Análisis instrumental*, 1989, págs. 179-190.

⁵⁴ Transmitancia de un material transparente es la fracción o porcentaje de la luz incidente que pasa completamente a través del material. Por lo general la transmitancia se expresa como porcentaje.

segundos transmiten determinadas longitudes de onda, que a su vez son percibidas por el órgano visual, y responsables del color. En ambos casos, habrá a su vez ciertas longitudes de onda que han sido absorbidas. Señalar que si todas las longitudes de onda de la luz incidente son absorbidas por el cuerpo, se dice que es opaco y de color negro.

Son dos las leyes que rigen los fenómenos de absorción de luz: la ley de Lambert y la ley de Beer.

Según la ley de Lambert la cantidad de radiación absorbida es la misma cuando la luz pasa a través de materiales de igual grosor (Fig. II.11); esta ley se cumplirá siempre que no se produzca dispersión de la luz.

*Ley de
Lambert*

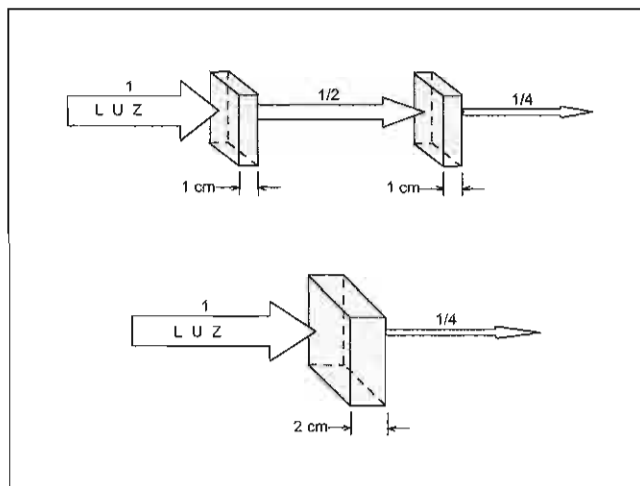


Fig. II.11. Absorción en función del grosor del material absorbente.

A su vez, la ley de Beer establece que la cantidad de radiación absorbida es la misma cuando la luz pasa a través de igual cantidad de material absorbente (Fig. II.12).

Ley de Beer

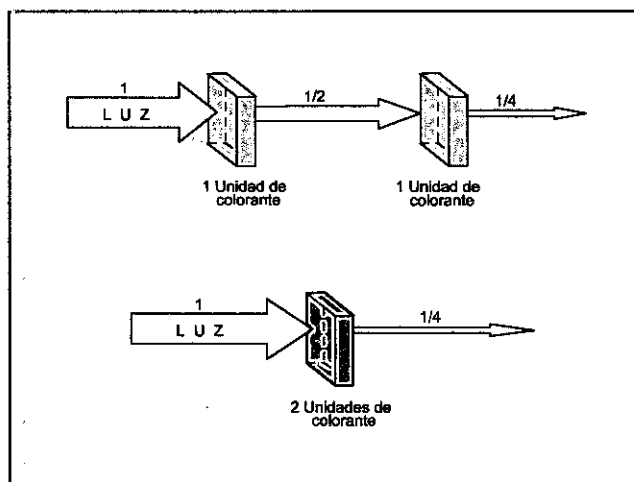


Fig. II.12. Absorción dependiendo de la cantidad de material absorbente.

*Material
cromático y
acromático*

El color del material depende tanto de la magnitud como de la clase de dispersión y absorción presentes: si no hay absorción selectiva y la dispersión se produce en la misma cantidad para cada longitud de onda, el material parecerá acromático; en el caso contrario parecerá cromático.

II.1.1.2.6.- Difracción

Cuando la luz se propaga en un medio homogéneo los rayos luminosos son líneas rectas que parten del foco emisor; sin embargo, en determinadas condiciones, también pueden observarse que se producen desviaciones respecto de la propagación rectilínea. Así, cuando una emisión de luz, considerada en su movimiento ondulatorio, llega a una superficie rígida con un orificio de apertura muy pequeña (del orden de la longitud de onda), se verifica que, a partir del orificio, se propagan ondulaciones idénticas a la incidente y en todas las direcciones (Fig. II.13).

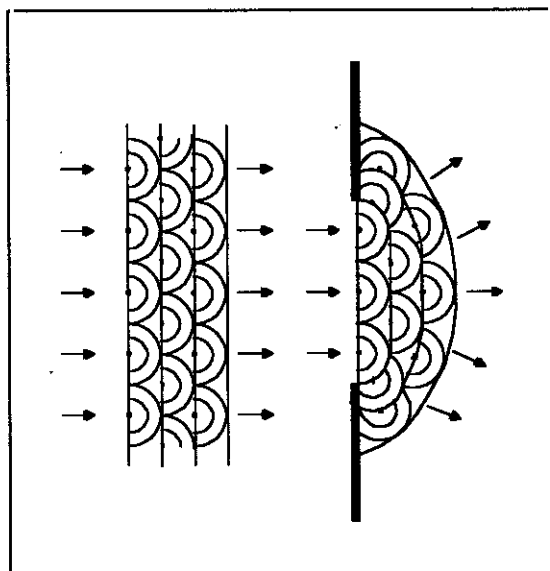


Fig. II.13. Difracción producida cuando un frente de onda encuentra un borde opaco.

Este fenómeno tiene su explicación al considerar la luz como una serie de frentes de onda que se mueven a lo largo de una trayectoria, y en la que cada punto del mismo frente de onda actúa a su vez como una nueva fuente de onda esférica. La difracción determina la capacidad de algunos sistemas ópticos, como el órgano visual, para representar un punto como tal.

II.1.1.3.- Percepción luz-color

Los rayos luminosos remitidos o transmitidos por el material, y que corresponden a la fracción de luz que no ha sido absorbida por éste, constituyen lo que se conoce como *estímulos de color*. Estos estímulos no son propiamente color, sino tan sólo los portadores de la información que llega a nuestro órgano visual y le permiten establecer la diferencia entre la luz que procede del material y la composición espectral de la iluminación general.

*Estímulos de
color*

*Composición**Curva
espectral*

La composición espectral de un estímulo de color puede reducirse a dos parámetros: su intervalo de longitudes de onda y la intensidad de la correspondiente radiación. Su representación gráfica corresponde a una curva espectral, que se denomina de transmitancia o reflectancia^{55,56}, según se trate de un material transparente u opaco respectivamente. Como se verá más adelante⁵⁷, estas curvas espectrales permiten relacionar en cierto modo, el color procedente de un objeto con el color percibido, y en consecuencia medirlo físicamente (Kaiser y Boynton, 1996:36).

De igual forma que una determinada fuente de luz queda definida a partir de su correspondiente curva de distribución espectral, las curvas espectrales de reflectancia o transmitancia describen el color de un objeto.

Es importante señalar que la composición espectral del estímulo de color de un material siempre dependerá de la iluminación bajo la que se observa; así, por ejemplo, si un material potencialmente tuviese la capacidad de remitir determinadas longitudes de onda, dicho efecto no podría tener lugar si estas longitudes de onda no estuviesen presentes en la fuente de iluminación⁵⁸. Este comportamiento permite confirmar que los estímulos de color no tienen color o no son portadores de color en sí mismos, sino que actúan como meros transmisores de información que responden a una realidad física objetivamente mensurable.

⁵⁵ Reflectancia de un objeto o superficie, denominada también factor de reflexión o coeficiente de reflexión, es la capacidad física de un material para absorber o reflejar la luz que recibe; es una propiedad constante de toda superficie.

⁵⁶ La curva espectral de reflectancia corresponde a la representación gráfica de la reflectancia de un objeto a cada longitud de onda en el espectro visible. En inglés, la superficie de reflectancia espectral de un objeto (*surface spectral reflectance*), se representa por las siglas SSR.

⁵⁷ Véase cap. II, ap. II.1.2.3.2. *Sistema CIE*, págs. 112, 113; cuándo se determina la obtención de los valores triestímulo X, Y y Z.

⁵⁸ La luz que incide en el órgano visual remitida por un cuerpo no luminoso es el resultado del producto de la reflectancia espectral del objeto y de la potencia de distribución espectral de la luz que incide sobre el mismo (MacAdam, 1997:41-42).

El detector más importante de los estímulos de color es el sistema compuesto por el ojo, el sistema nervioso y el cerebro. Según Küppers (1992:23), el detector visual funciona como un sistema de computadora:

Procesado de los estímulos de color

[...] donde el ojo actúa como unidad de alimentación y el cerebro hace las veces de centro de cálculo. La sensación de color es el producto de salida.

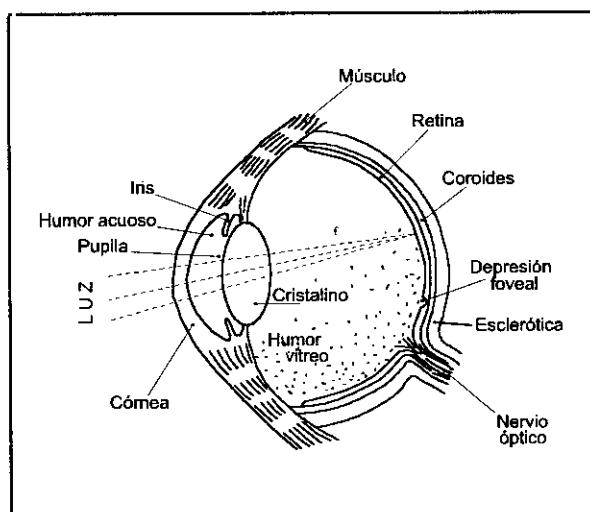
No se conoce exactamente como trabaja, pero todos los demás sistemas de detección y reproducción del color intentan duplicar sus resultados de una forma u otra.

No obstante, y aún simplificando el proceso, es importante dar una idea general de como trabaja el órgano de visión, puesto que su conocimiento permitirá entender los mecanismos que hacen posible la reproducción del color en el SIRECRAMT, sistema de reintegración que se desarrolla en esta investigación.

Sistema visual

Estableciendo un símil, se puede considerar que básicamente una cámara fotográfica actúa de forma semejante al ojo (Gerritsen, 1976:48-49), donde el objetivo estaría constituido por la córnea y el cristalino, ambos separados por el humor acuoso; la retina sería la placa sensible donde se forma la imagen y el iris el diafragma de apertura (Fig. II.14).

Fig. II.14. Esquema de la estructura del ojo.



Asimismo, en ambos casos existe la posibilidad de adaptación a las características de la fuente luminosa: intensidad de la luz y longitudes de onda dominantes; en la cámara fotográfica este efecto se logra mediante la utilización de películas de distintos grados de sensibilidad y películas para luz día o luz artificial, y en el sistema óptico, mediante el proceso de adaptación de la retina a la claridad y al color de la luz.

El estímulo de color, o rayo lumínico remitido por la estructura molecular de la materia es proyectado a través del cristalino⁵⁹ sobre la retina; en su proyección, el estímulo de color pasa a través de la córnea, la cámara anterior o humor acuoso, la abertura de la pupila, el cristalino y el humor vítreo. El iris, dilatando más o menos la pupila, permite regular la cantidad de luz que entra en el globo ocular, mientras que el cristalino variando su curvatura por medio de los músculos ciliares, hace posible que la imagen del objeto observado pueda verse con nitidez.

Todo este proceso hace posible que la información del estímulo de color llegue a la retina; la etapa siguiente será el análisis de dicha información.

*Estímulo -
sensación*

Se puede considerar que es en la retina donde comienza la selección y el análisis de la información transmitida por los estímulos luminosos; éstos son registrados por minúsculas células fotorreceptoras⁶⁰ situadas en la retina y provocan reacciones fotoquímicas las cuales, a su vez, producen impulsos eléctricos que se transmiten a través del sistema nervioso hasta el cerebro. Estos impulsos alcanzan la corteza del lóbulo occipital del cerebro, donde son analizados, elaborados y conservados como sensaciones de luz y color; de igual forma, el cerebro recibe los impulsos provenientes de los otros órganos sensoriales. En el cerebro se interpretan y registran, se memorizan y relacionan, de manera que la percepción del mensaje de

⁵⁹ El cristalino es un cuerpo gelatinoso que actúa como una verdadera lente convergente.

⁶⁰ También denominadas *células fotosensibles*.

uno de los órganos sensoriales puede evocar una relación con una percepción adquirida a través de otro órgano. Esta cadena estímulo-sensación constituye el proceso visual sobre el que todavía quedan muchos estudios por realizar (Gerritsen, 1976:50-51, 60-61; Gibson, 1974:31; González, 1982:34; Grandis, 1985:81-83).

De lo expuesto se deduce que el comportamiento de la retina ante los estímulos luminosos marca el umbral entre la realidad física y la fisiológica (Sanz, 1996:142) al detectar estímulos luminosos y producir impulsos nerviosos. Por ello, una descripción más detallada de la retina resulta fundamental para una mejor comprensión de la teoría de los colores.

Retina

Volviendo de nuevo al símil entre la cámara fotográfica y el ojo, se puede considerar que la retina es el equivalente a la placa sensible donde se forma la imagen. No obstante, un estudio más detallado de ambas áreas de registro de la imagen, muestran significativas diferencias. El tamaño del grano de los haluros de plata que forman la capa sensible de una película fotográfica presenta una estructura y distribución similares en toda la superficie de la película. Comparativamente las células fotorreceptoras de la retina no están uniformemente repartidas en toda su superficie; concretamente, en el área denominada *fóvea* o *zona amarilla*^{61,62} las células fotorreceptoras son muy finas y están más próximas o agrupadas (Kaiser y Boynton, 1996:114). En esta zona, cada célula fotorreceptora envía su propio mensaje al cerebro (Gerritsen, 1976:51; Lindsay y Norman, 1986:91), es decir, cada célula bipolar conecta con una ganglionar⁶³. Por el contrario, en el exterior de la fóvea las células fotorreceptoras siguen una distribución menos estructurada y la distancia entre ellas aumenta

Estructura

⁶¹ También denominada *foseta* o *mancha amarilla*.

⁶² La fóvea corresponde a una superficie de sólo unos 2,5 mm de diámetro (Casas, González y Puente, 1991:43)

⁶³ Las células bipolares y ganglionares son células nerviosas encargadas de transmitir la actividad eléctrica convertida por los bastones y conos, después de haber absorbido la luz.

progresivamente. En estas áreas la capacidad de cada célula fotorreceptora de enviar la información de forma aislada se reduce progresivamente; así, la información recogida por un grupo de células bipolares convergen en una sola célula ganglionar que, a través del nervio óptico, envía su información al cerebro. La explicación de este fenómeno estriba en el hecho de que en el ojo humano existen alrededor de 130 millones de células fotorreceptoras, mientras que el nervio óptico transmisor de la información de las mismas está formado por unas 400.000 fibras nerviosas (Grandis, 1985:72,74; Valldeperas, 1995b:31).

*Área de mayor
resolución*

Por lo tanto, la mayor resolución de una imagen óptica detallada tiene lugar en el área de la fovea, debido a su alta densidad de células fotorreceptoras; asimismo, esta capacidad de resolución se ve favorecida ya que su forma en depresión reduce la luz dispersada (Kaiser y Boynton, 1996:114).

*Conos y
bastones*

La retina tiene un grosor de tan sólo 0,4 mm (González, 1982:32) y está compuesta por una serie de estratos, del orden de diez (Grandis, 1985:72; Kaiser y Boynton, 1996:101-105), entre los que se encuentran las células fotorreceptoras de los conos y los bastones, responsables de la transducción electromagnética-electroquímica que generan a partir de los estímulos luminosos.

Morfología

La retina contiene aproximadamente 6 millones de conos y unos 120 millones de bastones (Frisby, 1987:165; González, 1982:32; Lindsay y Norman, 1986:89). Ambos fotorreceptores, conos y bastones, difieren morfológica y funcionalmente. En cuanto a su aspecto morfológico, los primeros tienen la forma que indica su nombre, son cortos y gruesos, mientras que los bastones son más largos y cilíndricos.

Distribución

Un análisis pormenorizado de su distribución en la retina pone de manifiesto diferencias significativas. No existen conos y bastones en la zona donde desemboca el nervio óptico (punto ciego) y la fovea contiene únicamente conos. Fuera de la fovea, los conos y bastones se

alternan de modos diversos: a medida que se van alejando de ella los conos disminuyen en número, mientras que los bastones se hacen cada vez más abundantes hasta ser las únicas células fotorreceptoras en las zonas periféricas de la retina (Kaiser y Boynton, 1996:114-115).

Por otro lado, los segmentos exteriores de las células fotorreceptoras contienen sustancias fotoquímicas sensibles a las diversas longitudes de onda de la luz visible; estas sustancias fotoquímicas se denominan *pigmentos fotosensibles* (Grandis, 1985:72-73; Kaiser y Boynton, 1996:107, 109). Sus moléculas son capaces de absorber luz, excitándose y modificando su estructura, proceso que va acompañado de un cambio de color y la liberación de un transmisor químico (González, 1982:32). Con este mecanismo se inicia la transmisión de impulsos eléctricos desde los conos y los bastones, hasta el cerebro. Finalizada la transmisión, estos pigmentos fotosensibles vuelven a su estado inicial mediante unos mecanismos bioquímicos especiales (Kaiser y Boynton, 1996:208).

*Sustancias
fotoquímicas*

Ante un estímulo luminoso, los bastones registran solamente si hay más o menos energía, determinando el grado de luminosidad, pero no discernen el color. Su sensibilidad determina la adaptación a la oscuridad en entornos de escasa iluminación. De acuerdo a su distribución en la retina, se deduce una mayor sensibilidad ante la luz y una mejor adaptación a la visión nocturna en la periferia de la misma.

*Bastones:
acromáticos*

Cuando la intensidad de luz alcanza el nivel suficiente para estimular los conos, éstos se hacen cargo de las funciones visuales, y relevan a los bastones. Los conos son células fotorreceptoras que registran las longitudes de onda del estímulo luminoso recibido y, consiguientemente, perciben las diferencias cualitativas y cuantitativas del mismo. Atendiendo a su distribución en la retina, se deduce que el centro de ésta presenta una mayor sensibilidad para ver y distinguir el color, y esta aptitud disminuye hacia las partes externas.

*Conos:
cromáticos*

*Visión
tricromática*

En 1801 el físico Thomas Young y más tarde Hermann von Helmholtz, sugirieron que probablemente la retina contenía tres clases diferentes de sustancias sensibles a la luz, cada una de las cuales presentaba una máxima sensibilidad en una determinada región del espectro (Kaiser y Boynton, 1996:18; McLaren, 1983:63-64; MacNichol, 1964:48). Posteriormente, la hipótesis de los tres fotorreceptores de Young-Helmholtz fue confirmada mediante mediciones microespectrofotométricas efectuadas en las células individuales de los conos en la retina. Las curvas de sensibilidad espectral de cada uno de los tres conos muestran un determinado máximo de absorción en λ_{\max} 420, 534 y 563 nm (Bowmaker y Dartnall, 1980:505)⁶⁴, y se encuentran dentro de los intervalos de las longitudes de onda cortas, medias y largas, respectivamente, que permiten definir la teoría tricromática de la visión del color⁶⁵.

Según se muestra en la figura II.15, las curvas espectrales de absorción de cada uno de los tres conos, presentan una superposición considerable en amplios intervalos del espectro visible.

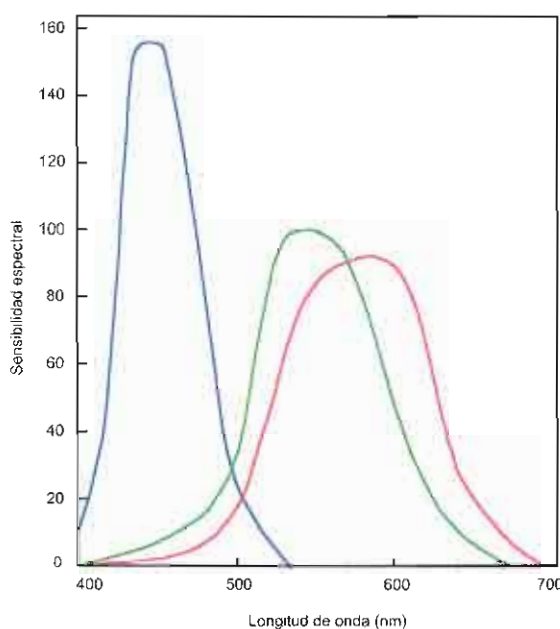


Fig. II.15. Las curvas muestran la amplitud de sensibilidad de los respectivos tipos de conos y el solapamiento con los adyacentes. En cada amplitud de recepción existe un máximo de sensibilidad, que va decreciendo hacia ambos lados de acuerdo con la trayectoria de la curva (MacLaren, 1983:69).

⁶⁴ El parámetro λ_{\max} expresa la longitud de onda a la que se produce la máxima absorción.

⁶⁵ Estos valores de máxima sensibilidad varían según unos u otros autores consultados en el orden de aproximadamente 15 nm (Gerritsen, 1976:53; González, 1982:32; MacLaren, 1983:72; MacNichol, 1964:56; Thornton, 1978:284-285; Valdeperas, 1995a:32).

El proceso de visión del color puede dividirse en dos etapas (Kaiser y Boynton, 1996:24-25; MacNichol, 1964:56; Valldeperas, 1995b:35). De acuerdo con la teoría tricromática de Young-Helmhotz, en una primera etapa, el órgano de la vista es estimulado por la información suministrada por el estímulo de color y la transforma en tres tipos de códigos o señales, que a su vez son transmitidos a través de impulsos nerviosos. En una segunda etapa, y según la teoría de los procesos opuestos⁶⁶ de Hering (De Valois y De Valois, 1997:97-115; Hurvich, 1978:33-61; Jameson y Hurvich, 1975:128; Kaiser y Boynton, 1996:250-253), se procesan los datos recibidos en forma de impulsos nerviosos, transmitiéndolos a través del sistema nervioso hasta el cerebro, donde se produce la correspondiente sensación de color.

*Teoría
tricromática*

*Teoría de los
procesos
opuestos*

Cabe señalar, que a las tres clases de conos se les ha denominado rojo, verde y azul, asumiendo que estos términos se refieren a la percepción de la luz monocromática cuya máxima excitación corresponde a cada uno de estos colores; si bien, los conos rojos son una excepción, ya que su curva tiene su punto máximo de excitación en la región amarilla del espectro aunque su campo se extiende suficientemente dentro del rojo para ser sensible también a este último. No obstante, y aunque lo más correcto sería definir las diferentes sensibilidades por su correspondiente longitud de onda, la terminología más comúnmente utilizada es rojo, verde y azul (McLaen, 1983:73).

Como consecuencia de que cada una de las tres clases de conos poseen un amplio espectro de absorción (Fig. II.15), se deduce que el

⁶⁶ La idea fundamental de esta teoría es que la apariencia de color se genera por medio de tres procesos o canales neurales independientes, dos canales cromáticos opuestos (rojo-verde y amarillo-azul), y un canal acromático (blanco-negro). Cada miembro de un par de opuestos inhibe al otro; así los dos canales cromáticos opuestos pueden tomar valores positivos, negativos o cero. Cuando, por ejemplo, el canal amarillo-azul es positivo, el resultado es un color amarillo, y si es negativo, el resultado es un color azul. Tal incompatibilidad de amarillo y azul se explica por el hecho de que el canal amarillo-azul nunca tiene simultáneamente valores positivos y negativos; así, nunca veremos un color amarillo-azulado o azul-amarillento, y si veremos la influencia del otro canal cromático, amarillo-rojizo, amarillo-verdoso, azul-verdoso o azul-rojizo.

ojo, como totalidad de los tres conos, será sensible a una gama de longitudes de onda mucho más amplia.

*Sin luz no hay
color*

*Máximos y
mínimos*

Como ya se ha definido, el color es una sensación que corresponde a la interpretación que da el cerebro de una "señal" luminosa que llega a la retina, es decir, se trata de una relación entre un estímulo físico y lo que es experimentado subjetivamente, y por lo tanto, sin luz no hay color. Cuando el órgano visual está adaptado a la oscuridad, la mínima intensidad luminosa que debe tener una fuente de radiación para producir sensación de luz, es a lo que se conoce como *umbral absoluto*, si bien, es necesario una intensidad mayor para que se pueda producir sensación de color. En niveles bajos de iluminación, correspondientes a la *visión escotópica* o *crepuscular*, trabajan principalmente los bastones, y en la *visión fotópica* o *diurna* actúan únicamente los conos (Kaiser y Boynton, 1996:107). El umbral máximo para los conos sería el *deslumbramiento* y la mínima intensidad que produce la sensación de color es el *umbral cromático*.

*Visión
fotópica*

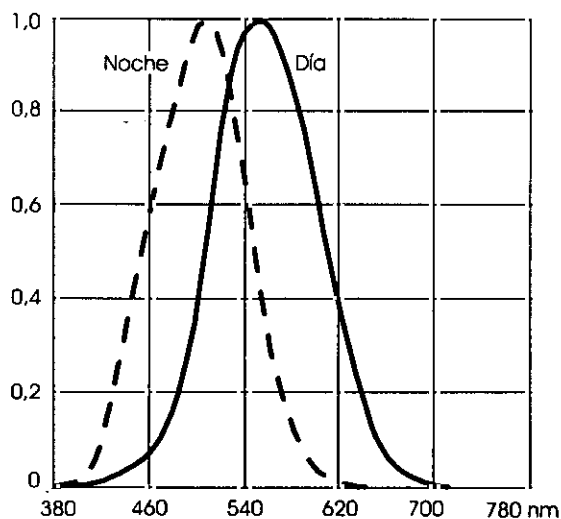
*Visión
escotópica*

Como muestra la figura II.16, la sensibilidad espectral del ojo varía de un tipo de visión a otro. En visión diurna o fotópica, la sensibilidad del ojo es mayor para longitudes de onda de aproximadamente 555 nm (luz amarilla) (Grandis, 1985:74; Kaiser y Boynton, 1996:140); esto es debido a que los conos que predominan en la retina son rojos y verdes, y al ser estimulados conjuntamente por igual, generan la sensación de amarillo. En visión escotópica o crepuscular la sensibilidad es máxima a 505 nm (Grandis, 1985:74; Kaiser y Boynton, 1996:140), ya que las células fotorreceptoras de los bastones son más sensibles a la luz verde azulada (González, 1982:32)⁶⁷. Por esta razón, de noche puede ser más eficaz una luz verde

⁶⁷ La transición entre ambas curvas de sensibilidad del ojo humano según se trate de la visión fotópica o crepuscular, que da lugar al *efecto Purkinje*, explica cómo al atardecer se tiene una impresión azulada de un paisaje lejano, mientras que a plena luz del día puede tener sus propios tonos claramente rojizos o verdosos.

azulada que una amarilla, mientras que de día, suele ser más eficaz una luz amarilla-rojiza.

Fig. II.16. Curvas de sensibilidad espectral de visión fotópica y escotópica (Casas, González y Puente, 1991:43).



Por otra parte, el órgano de la vista posee la capacidad de *adaptación* en cada momento a la cantidad y composición⁶⁸ de la iluminación de contemplación, lo que permite la mejor posibilidad de reconocimiento. Es decir, este mecanismo de adaptación a la nueva situación luminosa, le permite establecer las diferenciaciones adecuadas, tanto en lo que respecta a una mayor claridad como a una mayor oscuridad, así como reconocer las diferencias de color (Gerritsen, 1976:53-54; Kaiser y Boynton, 1996:198, 204; Küppers, 1992:15-17).

*Adaptación
visual*

La percepción del color varía mucho según el observador, tal como se deduce de las estimaciones que se hacen de los colores y sus diferencias. Para definir un ojo normal a la visión del color se utiliza un criterio puramente estadístico, teniendo en cuenta que existe un pequeño

⁶⁸ La acomodación visual a las variaciones espectrales de iluminación, permite que el color percibido de un objeto bajo diferentes iluminaciones, no suponga unos cambios apreciables. Así, la constancia o permanencia de color es esta estabilidad del color percibido a pesar de las alteraciones de las características del iluminante. Estudios prácticos y teóricos sobre la naturaleza de los mecanismos de la constancia del color han sido desarrollados por Land (1997:144-159), Wandell (1997:161-175) y Jameson y Hurvich (1997:178-198).

número de personas que tienen deficiencias notorias en la visión del color.

Anomalías
visuales

Estas anomalías del órgano visual, más frecuentemente congénitas que adquiridas, son las bases que confirman la teoría tricromática de la visión del color (Kaiser y Boynton, 1996:20). El *anómalo tricromático* es el individuo que tiene las tres clases de conos, pero no ve el color como un observador con visión considerada normal. Los individuos *dicromáticos*, son ciegos a uno de los colores: rojo, verde o azul⁶⁹, al estar privados de uno de los tres conos fotorreceptores de la visión coloreada, aunque con los dos restantes reproducen todos los colores posibles (Hsia y Graham, 1997:200-216; Kaiser y Boynton, 1996:415); esta anomalía visual es la más frecuente y se denomina *daltonismo*. (Billmeyer y Saltzman, 1981:15-16; Grandis, 1985:79). Se consideran ciegos al color las personas que no son capaces de distinguir un color de otro (cono monocromáticos); la causa de este comportamiento tiene su origen en que la retina presenta bastones y una sola clase de conos fotorreceptores. Igualmente, también son ciegos al color las personas que ven solamente con los bastones (acromáticos), al no tener en la retina ningún cono fotorreceptor (Hsia y Graham, 1997:200, 216-217; Kaiser y Boynton, 1996:415). Señalar que si bien las anomalías citadas están consideradas a nivel de los fotorreceptores, también pueden ser debidas a su transmisión neural⁷⁰ (Hurvich, 1978:44-50).

Con objeto de evitar ambigüedades, a continuación se recuerda la convención de términos usados: los tonos cromáticos (rojo, verde, azul, etc.) se refieren a las sensaciones o percepciones de color; los estímulos de color o luminosos se utilizan para especificar longitudes de onda

⁶⁹ Las formas de dicromatismo que ocurren más frecuentemente son la *protanopia* (ciegos al color rojo), *deuteranopia* (ciegos al color verde) y *tritanopia* (ciegos al color azul); si bien esta última deficiencia ocurre con menos frecuencia que las otras dos (Hsia y Graham, 1997:200-216).

⁷⁰ Determinados estudios al respecto han sido realizados por Geschwind y Fusillo (1997:261-275), Rizzo, Smith, Pokorny y Damasio (1997:277-289), y Heywood, Cowey y Newcombe (1997:291-308).

concretas (e. g. 420 nm), o bien para intervalos de longitud de onda en el caso de estímulos no específicos (estímulos de longitudes de onda media, estímulos de longitudes de onda corta, estímulos de longitudes de onda larga); y finalmente cuando se hace referencia a la sensibilidad espectral de los conos fotorreceptores, se utilizan los términos: azul, verde y rojo⁷¹.

Las tres sensibilidades espectrales de nuestro sistema visual, cuando son expuestas a los estímulos de longitudes de ondas cortas, medias, y largas del espectro, producen, respectivamente, las sensaciones de color: azul, verde y rojo, siempre y cuando sean activadas por separado. Sin embargo, estas sensibilidades a los estímulos de color pueden ser activadas en mayor o menor medida, y sus posibles combinaciones mutuas son infinitamente variadas; en consecuencia, el sistema visual humano puede distinguir un gran número de colores.

Estas tres sensibilidades del ojo que generan la sensación de color azul, rojo y verde, se consideran como sensibilidades primarias. Ahora bien, cuando dos de estas sensibilidades primarias son simultáneamente activadas y en las mismas proporciones, se producen otras sensaciones de color secundarias (Fig. II.17) denominadas amarillo, magenta y cian (Gerritsen, 1976:68):

*Sensaciones
cromáticas
primarias y
secundarias*

Rojo + Verde: sensación de color amarillo

Rojo + Azul: sensación de color magenta

Verde +Azul: sensación de color cian

Asimismo, si las tres sensibilidades al color son simultáneamente activadas y en su máxima intensidad, se percibe la sensación de color blanco. Cuando se disminuye la intensidad de la activación de las tres

*Sensaciones
acromáticas*

⁷¹ Aunque la forma más correcta quizás sea la de definir las diferentes sensibilidades por su longitud de onda, se ha optado por ésta para facilitar la agilidad o comprensión del desarrollo posterior.

sensibilidades al color, y se mantiene su equilibrio mutuo, sin que ninguna de ellas domine sobre las restantes, se obtiene una sensación acromática correspondiente a los colores neutros. Como muestra la figura II.18, ésta sensación acromática puede variar dentro del rango blanco-negro pasando por diferentes gamas de grises.

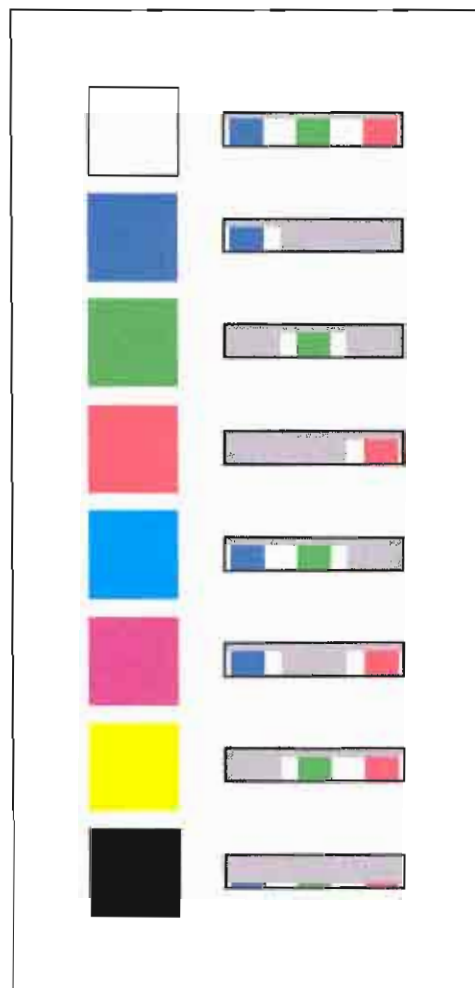
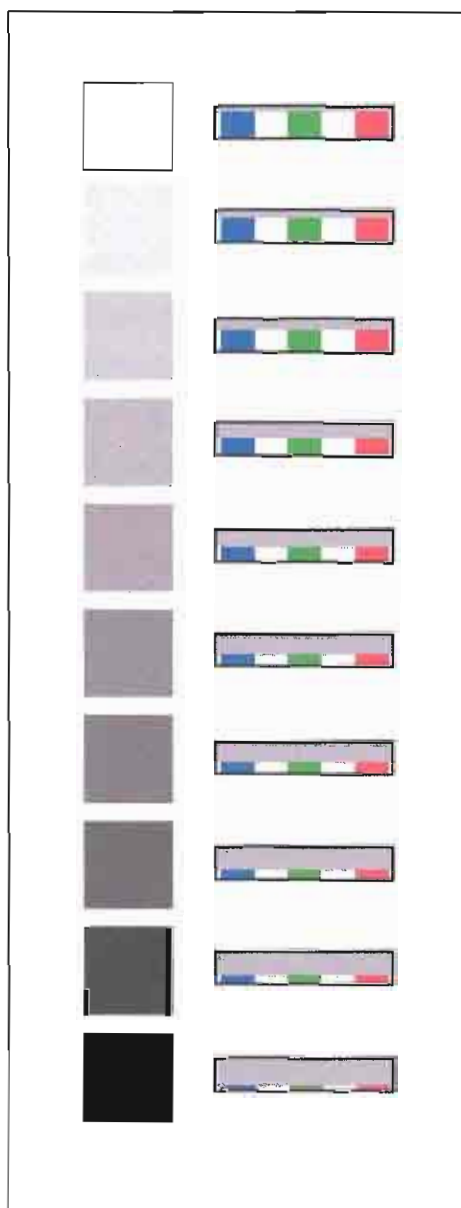


Fig. II.17. Esquemas de percepción según las ocho posiciones extremas de activación de las tres sensibilidades espectrales del ojo a las longitudes de ondas cortas, medias y largas.

Fig. II.18. Colores neutros y sus correspondientes esquemas de percepción. Los esquemas de percepción muestran como las tres sensibilidades espectrales del sistema visual son activadas por igual manteniendo un equilibrio mutuo.



II.1.2.- Características y especificación del color

*Cuerpos de
color*

Como resultado de la interacción de la luz con la materia surgen los estímulos luminosos los cuales, al ser detectados por el órgano visual, generan la sensación de color, responsable del aspecto cromático de dicha materia. Estos materiales reciben el nombre de *cuerpos de color* (Küppers, 1992:151; Moreno, 1996:97); su aspecto está relacionado con los rayos luminosos remitidos o transmitidos de forma selectiva por la materia y no por los absorbidos.

*Color: aspecto
psico-físico*

El color de un cuerpo es una experiencia subjetiva, pero la longitud de onda del estímulo luminoso que provoca dicha sensación es una magnitud física mensurable objetivamente. Si bien la cuestión ideal sería considerar el color, tanto en su aspecto psicológico como en su aspecto físico, esto no es factible de forma exacta al no existir una relación cuantificable directa y constante entre el estímulo y la sensación producida. Por esta razón se pueden establecer dos criterios para definir el color: el subjetivo, que estudia el color tal y como lo ve un observador, y el objetivo, basado en la medición de las propiedades físicas de la radiación (Hunt, 1978:321-322).

II.1.2.1.- Características subjetivas del color

*Parámetros
psicológicos*

Los diversos aspectos de la modulación de un estímulo de color se expresan comúnmente, a partir de tres parámetros o atributos⁷² psicológicos relacionados con nuestras sensaciones de color: tono, saturación y luminosidad (Astrua, 1982:122-123; Billmeyer y Saltzman, 1981:17-19, 186-187; Fabris y Germani, 1987:56-58; Gerritsen, 1976:95-99; Hunt, 1957:78; Kaiser y Boynton, 1996:42-43, Palazzi, 1995:24).

⁷² Quizás el término más correcto sea el de atributos, ya que éstos describen sensaciones y no el objeto visto ni los estímulos físicos que llegan al órgano visual.

- a) *Tono*. Se refiere al aspecto cualitativo de un color. Cuando se identifica algo como rojo, verde o amarillo, se está describiendo un tono. Es la sensación principal de color y, en su aspecto físico, está directamente relacionada con su longitud de onda dominante dentro del espectro luminoso. Los tonos se presentan bajo una amplia variedad, ya que las longitudes de onda pueden combinarse de un modo casi infinito.

En los diversos sistemas de representación de los colores, se parte de varios tonos base. Algunos tonos se describen como primarios debido a que todos los demás colores pueden ser obtenidos mediante su mezcla adecuada. Un órgano visual normal tiene la facultad de percibir una diferencia de tonos entre radiaciones que difieren de 2 a 4 nm en su longitud de onda (Clerc, 1975:888), esto significa que, dentro de la banda espectro visible, son visibles más de cien tonalidades distintas.

- b) *Saturación*. Se refiere al aspecto cuantitativo de un color. Cuando un color tiene su máxima pureza o fuerza, en su aspecto físico, le corresponde una única y determinada longitud de onda dentro del espectro visible; se dice entonces que tiene la máxima saturación y se relaciona con una escala de intensidad relativa.

La saturación varía en relación con la cantidad de blanco añadida al tono. Un color se considera más saturado cuanto menos blanco contenga.

- c) *Luminosidad*. Este parámetro se refiere a la capacidad de reflexión de un color, es decir, a la relación entre la cantidad de luz que recibe y la que refleja o transmite. Todo color pigmento, esté o no saturado, tiene una determinada capacidad

de reflejar la luz blanca que incide sobre él; esta capacidad se denomina luminosidad de un tono en términos subjetivos, y luminancia⁷³ en términos objetivos.

Colores sucios

En colores pigmento, la luminosidad varía al añadir un color negro a un tono ya que el negro resta luz al color; a su vez, a este color negro se le puede añadir simultáneamente blanco, lo que equivale a añadir gris a un tono. Señalar que la adición de gris influye de forma especial ya que siempre produce colores *sucios* o *turbios*; es decir, con tendencia acromática, con pérdida de saturación y luminosidad. En ciertos casos, esta adición puede variar incluso el mismo tono del color: como en el caso del amarillo que, al añadirle gris o negro, se vuelve verdoso; el rojo se vuelve marrón, etc.

Valor

Por tanto, añadiendo gris a un color variará su saturación, su luminosidad y, a veces, también el tono. La saturación variará en razón de la cantidad de blanco contenida en el gris y la luminosidad, en razón del negro contenido en el gris. Para indicar tanto la variación de la saturación como la correspondiente a la luminosidad se utiliza el término *valor*.

*Otros aspectos
subjetivos*

Por otra parte, existen otras características subjetivas referentes al color, que son el resultado del proceso de distintas asociaciones establecidas en el cerebro durante la percepción visual (Fabris y Germani, 1987:84-85, 91-94; Gerritsen, 1976:167-168). La valoración de colores como *calientes* y *fríos* no depende de la diferencia efectiva de radiaciones, sino de una relación de sensaciones⁷⁴. Generalmente, se acostumbra a considerar como calientes los colores asociados, por

⁷³ Luminancia es el término técnico que se refiere a la intensidad por unidad de área de luz que viene desde una superficie al ojo. Se expresa en candelas por metro cuadrado (cd/m²); esta unidad es llamada a veces *nit*.

⁷⁴ Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, págs. 92, 93.

ejemplo, con la idea de Sol, fuego, y asociar el color blanco de la nieve, o azul del cielo con la idea de frío.

La sensación de movimiento es otra característica subjetiva de los colores; en particular se observa cómo los colores claros y fríos ensanchan, elevan, alejan, creando una amplitud espacial y, por el contrario, los colores oscuros y calientes bajan, pesan, cierran, generando una sensación de proximidad.

II.1.2.2.- Características objetivas del color

Trasladar la medida subjetiva de una sensación cromática en términos objetivos, requiere una laboriosa interpretación de los mecanismos visual y psicológico, que transforman los estímulos luminosos en sensaciones de color. La dificultad del sistema visual humano y de las leyes por las que se rige su funcionamiento, no del todo conocidas, es responsable de que la métrica del color se centre más en los parámetros que caracterizan los estímulos luminosos de color, que en la propia sensación de color producida en el observador (Astrua, 1982:123-124; Billmeyer y Saltzman, 1981:17-19, 187-188). Los estímulos luminosos se pueden medir gracias a medios espectrofotométricos, en los que se relaciona el estímulo luminoso remitido por una superficie blanca estándar, con el estímulo luminoso del color que se mide.

*Métrica del
color*

Estos sistemas permiten definir la curva de absorción espectral de diferentes superficies de color, y en consecuencia, determinar los distintos porcentajes de absorción (a los que corresponden los porcentajes inversos de transmisión o reflexión) de todas las longitudes de onda del espectro visible. De este modo, cualquier color puede ser representado gráficamente en un sistema de coordenadas (Fig. II.19); en las abscisas las longitudes de onda y en las ordenadas los distintos porcentajes de absorción, o bien, de reflexión o transmisión.

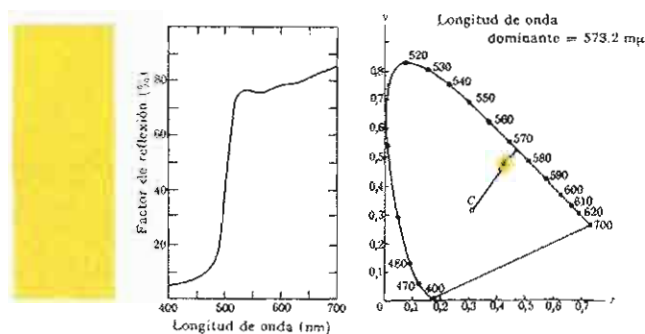


Fig. II.19. Curva de absorción espectral correspondiente a un color amarillo, y representación del mismo en el diagrama CIE.

II.1.2.3.- Especificación del color

Un objeto puede ser caracterizado a partir de una serie de propiedades, como son la forma, el peso y el color. La forma y el peso pueden ser definidos físicamente mediante reglas y escalas, y el juicio sobre los mismos puede realizarse táctil o visualmente. Sin embargo, el juicio o discernimiento del color está limitado exclusivamente al sentido visual, por lo que no existe la posibilidad de establecer una asociación con la información aportada por otros sentidos; situación que impide poder realizar una identificación más exacta (Kaiser y Boynton, 1996:36).

No obstante, la descripción ordenada y específica del color es una cuestión esencial a la hora de hablar de esta propiedad. Inicialmente, el término *color* fue utilizado en el arte mucho antes que en la ciencia, por lo que el lenguaje del color es más poético que real. Científicamente resulta insuficiente especificar los colores sólo por su tono, como vulgarmente se hace utilizando simplemente una palabra o grupo de palabras: azul cielo, rosa pálido, etc. A cada uno de los colores se le ha de poder asignar una denominación concreta que permita reproducirlo inequívocamente y con exactitud.

*Determinación
concreta*

Como ya se ha señalado, el color de un determinado cuerpo depende, además del observador, de la composición espectral de la luz con que se ilumina; así, por ejemplo, el color de una superficie que bajo la luz del día se clasifica como rojo saturado, bajo la luz crepuscular sería de un rojo oscuro no saturado y bajo la luz de la luna sería prácticamente gris. Por lo tanto, no es aconsejable tratar de especificar el color si previamente no se define la luz con que se va a iluminar.

Existen distintos sistemas que permiten ordenar y relacionar sistemáticamente todas las gamas de colores, mediante figuras o cuerpos geométricos denominados *espacios* o *sólidos de color* (Fabris y Germani, 1987:58; Küppers, 1992:58). Una parte de estos sistemas están basados en una colección de patrones de color previamente establecidos como, por ejemplo, el sistema Ostwald, el sistema Munsell, el cubo de Hicethier, el romboedro de Küppers, entre otros.

*Algunos
sistemas de
ordenación*

Asimismo, la obtención de un catálogo de colores a partir de un sólido de color, por subdivisión de sus escalas (tono, saturación y luminosidad), debe permitir que cualquiera de sus colores pueda ser reproducido por mezclas exactas de colorantes de composición química específica o bien, por mezcla aditiva de determinadas luces de color, según el sistema. De esta manera, cuando se quiera especificar un color bastará comparar la muestra con los colores estándar del catálogo y asignarle las coordenadas correspondientes. Estos sistemas están sujetos a la elaboración de un catálogo con el mayor número de colores diferentes posibles que puede discernir un observador normal.

Por otra parte, existen otros sistemas, como es el sistema CIE, que no están basados en muestras o patrones reales sino en la especificación del color a partir de valores de absorción espectral.

Teniendo en cuenta el proceso experimental seguido en el desarrollo y posterior aplicación práctica del SIRECRAMT, como

sistema de reproducción del color, dentro de los sistemas de especificación cromática citados en esta Memoria, únicamente se definirán los correspondientes al cubo de Hickethier y al sistema CIE.

II.1.2.3.1.- Cubo de Hickethier

Para asignar a cada color una determinada posición en un sistema que coordine el tono con su saturación y su luminosidad, es necesario representar los colores por medio de un sólido tridimensional; en este sentido el hexaedro es la figura geométrica que mejor se adapta para la representación gráfica de los sistemas o procedimientos tricromáticos (Grandis, 1985:44; Hickethier, s.a.:19; Küppers, 1992:78; Küppers, 1994:149).

Se parte del hecho de que el órgano visual cuenta con tres tipos de células fotorreceptoras, que a su vez generan tres clases diferentes de códigos correspondientes a los colores azul, verde y rojo. Para representar gráficamente las leyes de la visión en este sistema, se consideran los colores azul, verde y rojo como vectores que forman entre sí un ángulo de 90° (Küppers, 1992:57-60). Esta distribución espacial permite la obtención de una figura geométrica correspondiente a un hexaedro (Figs. II.20 y II.21). Este hexaedro regular o cubo se apoya en uno de sus vértices, donde se sitúa el color negro. La diagonal que une este vértice con su opuesto, corresponde a la escala acromática con el blanco arriba y el negro abajo. Las aristas que parten del vértice inferior, corresponden a los colores azul, verde y rojo; y las del vértice superior, corresponden a los colores amarillo, magenta y cian⁷⁵.

⁷⁵ El término *cian*, no está recogido en el Diccionario de la lengua española de la Real Academia en su vigésima primera edición, si bien, en algunos diccionarios técnicos como el de Beigbeder (1988), aparece expresado de la forma descrita, y es el que se utiliza en esta Memoria. En textos de habla inglesa así como por la Comisión Internacional de Iluminación, CIE, el término utilizado es *cyan*; traducciones de estos textos extranjeros al castellano aparece, por lo general, expresado en los mismos términos que en el idioma original.

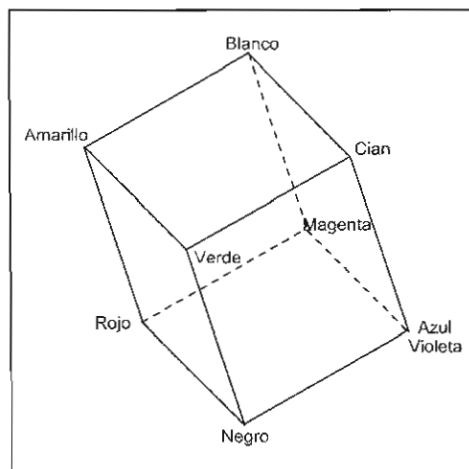


Fig. II.20. Representación esquemática en el cubo de Hickethier de la ubicación de los colores correspondientes a las ocho sensaciones extremas del órgano visual, seis cromáticos: amarillo, magenta, cian, rojo, verde y azul; y dos acromáticos: blanco y negro.

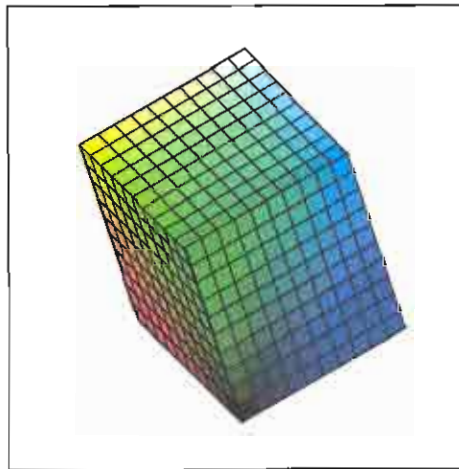


Fig. II.21. Cubo de los colores de Hickethier con subdivisiones de diez partes en cada una de las aristas, lo que permite representar un total de mil modulaciones distintas de color.

Cada arista está dividida en diez subdivisiones dispuestas perpendicularmente y numeradas; de esta manera el sólido de color se configura en mil subdivisiones iguales, que suponen mil modulaciones distintas de color (Grandis, 1985:45-46; Hickethier, s.a.:18; Küppers, 1994:122-123). Cada modulación de color queda especificada por tres cifras correspondientes a cada uno de los colores base (amarillo, magenta y cian) que lo componen, como se verá posteriormente.

Para su aplicación práctica se utilizan las diez partes o planos paralelos en que se secciona el sólido; de esta forma se obtienen diez tablas cuadradas (Küppers, 1992:76). Cada una de ellas está subdividida en cien cuadrados que corresponden a distintas modulaciones de color; a su vez cada modulación está especificada por las tres cifras mencionadas (Fabris y Germani, 1987:61-62; Hickethier, s.a.:18; Moreno, 1996:52-53).

*Adaptación a
los sistemas
tricromáticos*

Las tablas de colores de superficie cuadrada resultan muy comprensibles y explícitas a la hora de referirse de forma cuantitativa a los colores de partida, pero no ofrecen ventaja alguna en cuanto a la presentación de las gamas de color en lo que a sus características cualitativas se refiere. No obstante, la representación de los colores basada en una forma geométrica cúbica resulta adecuada para mostrar la realidad, ya que este espacio de color es especialmente gráfico para los sistemas tricromáticos de reproducción del color, como son, además del sistema de reintegración que se desarrolla en esta Memoria, la fotografía en color, los sistemas de impresión, la televisión en color y el sistema RGB, utilizado en los ordenadores (Robinson *et al.*, 1987:176-177).

II.1.2.3.2.- Sistema CIE

Este sistema permite obtener una medida objetiva del color, directamente derivada de su posición en el espectro electromagnético de luz blanca (Billmeyer y Saltzman, 1981:34-51). El diseño y desarrollo de este sistema se basa en medidas experimentales del color y tratamiento matemático de los datos obtenidos; para las medidas de color se parte de las características físicas de la luz.

El sistema CIE, propuesto por la Comisión Internacional de Iluminación, parte de la premisa de que el estímulo de color es el resultado de la combinación de tres factores: una fuente de iluminación, la interacción de la luz con la materia y el órgano visual del observador. Las medidas colorimétricas se realizan bajo unos estándares de fuentes de iluminación y de observador.

El sistema CIE especifica el color, según la teoría tricromática de visión, por medio de tres valores numéricos denominados *valores triestímulo* X, Y, y Z. Los instrumentos denominados colorímetros miden directamente los valores triestímulo por medio de lecturas por

reflexión filtradas, relacionadas con la respuesta espectral del ojo humano.

Otro método para determinar los valores triestímulo es mediante un espectrofotómetro, aparato que registra las lecturas por transmisión o reflexión del color a determinados intervalos de longitudes de onda, y da como resultado una curva espectrofotométrica (Gerritsen, 1976:165). Cada lectura resulta del producto de los siguientes parámetros: la potencia del iluminante estándar, la reflectancia o transmitancia del objeto, y las denominadas *valencias primarias*⁷⁶ del observador estándar; la suma de los productos de estos tres parámetros, correspondientes a todas las longitudes de onda dentro del espectro visible, proporciona los valores triestímulo. Estos valores representan los tres estímulos hipotéticos del color, que serían necesarios en una mezcla aditiva para igualar un determinado estímulo de color. Señalar que dichos valores triestímulo de colores están referidos a un tipo de iluminante concreto normalizado, así como a un observador estándar que también es necesario especificar.

La representación gráfica de los colores así obtenidos se realiza en un diagrama cromático, denominado diagrama CIE (Fig. II.22). El diagrama es trazado con el sistema de *coordenadas cromáticas*⁷⁷ x e y , obtenidas a partir de los valores triestímulo.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1 \quad (\text{II.3})$$

⁷⁶ Las valencias primarias corresponden a tres luces de color, relacionadas con los tres campos de recepción de los tres tipos de conos.

⁷⁷ Las coordenadas cromáticas, también denominadas coordenadas o coeficientes tricromáticos, son y , x y z , si bien, la coordenada z no tiene representación en el diagrama cartesiano de dos dimensiones.

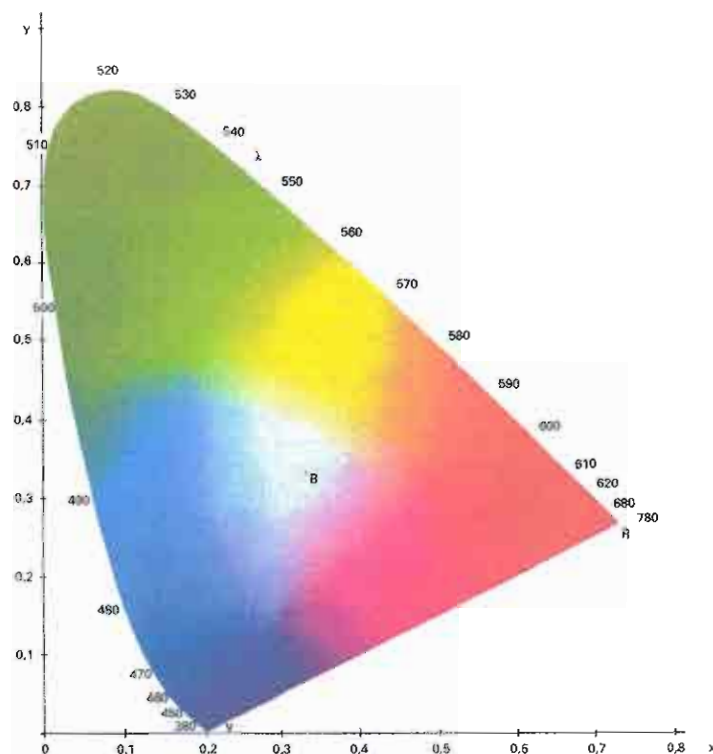


Fig. II.22. Diagrama CIE. En la periferia de la curva se representan los colores *puros, saturados o monocromáticos*; la línea VR que une los violetas y los rojos, corresponde a los colores púrpuras o magentas de máxima saturación; y el punto B representa al color blanco formado por el espectro continuo de todas las radiaciones monocromáticas con el mismo valor energético.

No define un
espacio
homogéneo

En cualquier caso, es conveniente observar que este diagrama bidimensional no define un espacio homogéneo; es decir, la distancia entre dos puntos no representa realmente la diferencia perceptiva visible (Palazzi, 1995:46).

Aplicación

El diagrama cromático no es recomendado para representar superficies o cuerpos de color, sino más bien luces de color, ya que está basado en las características aditivas de la luz y no en las sustractivas de los pigmentos (Yule, 1967:173).

El sistema CIE no coincide de forma congruente con la forma de trabajo del órgano de la vista, ya que éste parece trabajar con mayor exactitud en la métrica de los colores (Küppers, 1992:24, 140-141). El problema estriba en la dificultad de establecer una relación entre los valores obtenidos y las sensaciones generadas, pues la composición espectral del estímulo luminoso de color no posee ninguna relación fija con la sensación de color (Casas, González y Puente, 1991:78). Este sistema se suele aplicar en la detección de igualdad o desigualdad de los estímulos de color generados por distintas muestras. No obstante, la increíble sensibilidad del ojo para detectar pequeñas diferencias de color todavía no ha sido igualada por sistemas artificiales (Kaiser y Boynton, 1996:314; Robinson *et al.*, 1987:173).

II.2.- REPRODUCCIÓN DEL COLOR

En términos generales, la reproducción del color debe entenderse como el proceso que permite reproducir o duplicar una sensación cromática generada por un objeto en el sistema visual, mediante la combinación de ciertos colores en determinadas proporciones. Concretamente tiene como objetivo el reproducir los estímulos de color originales, aunque no necesariamente los colores originales.

*Duplicar una
sensación
cromática*

Dos estímulos de color, uno correspondiente al color patrón y otro al color reproducido, son iguales cuando las longitudes de onda remitidas al ojo por cada uno de ellos son absorbidas de la misma forma por las tres clases de conos fotorreceptores (Kaiser y Boynton, 1996:163).

En relación al SIRECRAMT, la reproducción del color está dirigida a reproducir el estímulo de color original de la obra⁷⁸, en las áreas de pérdida o lagunas de la capa pictórica, tomando como

⁷⁸ Dentro, por supuesto, de los límites establecidos por las exigencias técnicas de reintegración. Véase cap. I, ap. I.3. *Exigencias técnicas*, págs. 53, 54.

referencia el color original de la pintura adyacente, es decir, se pretende establecer una igualación cromática.

*Igualación
cromática
invariable*

Condicionantes

La igualación cromática puede ser de dos tipos: invariable y condicional (Billmeyer y Saltzman, 1981:142-145). Una igualación cromática invariable es aquella en la que el color original y el reproducido presentan la misma apariencia ante todos los observadores y bajo distintas fuentes de iluminación. Este tipo de igualación no se lleva a cabo en el SIRECRAMT, ya que sería necesario cumplir una serie de condicionantes, ciertamente utópicos, como son: usar los mismos pigmentos y en las mismas proporciones que los empleados en la ejecución del color original⁷⁹, utilizar la misma técnica y procedimiento pictórico, y además que la zona reintegrada presentara las mismas modificaciones que el original ha experimentado como consecuencia de su envejecimiento; si se cumplieran estas condiciones, la curva espectrofotométrica del color original y de la reproducción serían exactamente iguales. Sin embargo, además de la dificultad que entrañaría llevar a cabo una igualación cromática de este tipo, habría que considerar que el proceso de reintegración desarrollado de esta forma supondría efectuar una falsificación matériaca de los componentes de la obra, contraria a las exigencias técnicas marcadas por los criterios de reintegración⁸⁰, por estas circunstancias, esta metodología es totalmente descartada.

Generalmente, los colores que se utilizan en el proceso de reproducción del color se reducen a un número muy limitado, y comúnmente, presentan distinta composición que los colores que se usaron para realizar el color patrón original. Este aspecto condiciona la igualación del color original con el color de la reproducción (Kaiser y Boynton, 1996:314), y en realidad, este proceso se limita a una

⁷⁹ Esto supondría tener que disponer de un amplio número de pigmentos que cubriesen las posibilidades existentes de cualquier tipo de color a reproducir.

⁸⁰ Véase cap. I, ap. I.3. *Exigencias técnicas*, págs. 53, 54.

aproximación de los mismos bajo unas condiciones determinadas. A este tipo de igualación cromática, Billmeyer y Saltzman (1981:144) la denominan *condicional*.

*Igualación
cromática
condicional*

En este tipo de igualación cromática pueden tener lugar fenómenos de metamerismo, ya que para la obtención del color reproducido se utilizan pigmentos diferentes a los empleados en el original, si bien su mezcla adecuada permite conseguir un mismo estímulo de color bajo una determinada fuente de iluminación. Sin embargo, en realidad ambos estímulos de color -el original y el reproducido- presentarán distintas curvas de distribución espectral, ya que éstas son generadas por pigmentos distintos, cada uno de los cuales tiene una absorción de luz característica. Teniendo en cuenta que el estímulo de color está determinado no sólo por el pigmento, sino también por la fuente de iluminación, si ésta varía podrán percibirse diferencias entre el color original y el color reproducido (Agoston, 1987:40-41, 94-95; Gerritsen, 1976:154; Staniforth, 1985:101).

Metamerismo

Tanto en el SIRECRAMT que se propone, como en las técnicas ya existentes de reintegración y la mayor parte de los sistemas de reproducción del color: fotografía en color, impresión en color, se realiza una igualación cromática condicional (Küppers, 1992:136).

Para una mejor comprensión del proceso de reproducción del color, es conveniente recordar los tres factores que determinan un color, o más concretamente una sensación de color: fuente luminosa, objeto y observador. Hay que señalar que la posibilidad de actuación sobre estos factores es limitada; así, en muy pocas ocasiones es posible modificar la curva de distribución espectral de la fuente luminosa bajo la que se observa un objeto; por otra parte, la sensibilidad espectral del órgano visual del observador no se puede alterar. Así pues, sólo queda poder modificar la curva espectral de transmitancia o reflectancia del objeto, lo que sí es posible mediante la utilización de pigmentos. Los pigmentos son por tanto, la clave que permite modificar la apariencia de color de

*Fuente
luminosa,
objeto y
observador*

un objeto material y, en consecuencia, lograr una reproducción del color.

*Determinación
de la fuente
luminosa*

*Luz blanca =
luz azul +
verde +
roja*

Teniendo en cuenta que la curva espectral de transmitancia o reflectancia del color de un objeto depende en parte de la naturaleza espectral de la fuente luminosa (Grandis, 1985:53), ésta deberá ser establecida como etapa previa al proceso de reproducción del color. En todo caso, para la reproducción del color en el SIRECRAMT, la fuente luminosa debe considerarse un emisor de espectro equienergético⁸¹, la representación simplificada de este espectro, puede ser considerada como una mezcla de tres componentes: luz roja, verde y azul (Burden, 1978:285; Yule, 1967:14), relacionadas con las sensibilidades de los tres conos fotorreceptores; este proceso permitirá hablar de forma esquemática de luz reflejada o transmitida, en lugar de curva espectral de transmitancia o reflectancia.

*Combinaciones
de luz azul,
verde y roja.*

Según las consideraciones establecidas de acuerdo a la teoría tricromática de visión del color, la sensación cromática se basa en un sistema de tres estímulos. Esto supone que, técnicamente, sea posible reproducir cualquier color visible por una mezcla adecuada de luces, roja, verde y azul, como ya lo hiciera experimentalmente Maxwell en 1860 (Hunt, 1957:24, 80). Es en este principio elemental en el que se basa el SIRECRAMT, al igual que la mayoría de los procedimientos prácticos de reproducción del color.

*Etapas
reproducción
del color*

Con carácter general, la reproducción de un color por medio del sistema de reintegración que se desarrolla puede considerarse un proceso dividido en dos etapas:

- a) *Etapas de separación del color.* De acuerdo al principio tricromático de reproducción del color, se realizan tres

⁸¹ Se considera un emisor de espectro equienergético al formado por el espectro continuo de todas las radiaciones monocromáticas, todas ellas del mismo valor energético; equivalente a una luz blanca.

registros que modulen los estímulos luminosos primarios: azul, verde y rojo, correspondientes a las tres sensibilidades espectrales del órgano visual.

- b) *Etapa de síntesis*. Se realiza una combinación de los tres registros definidos en la etapa anterior, a fin de poder generar la sensación del color objeto de la reproducción.

II.2.1.- Principios básicos de la reproducción del color

Los principios básicos de los sistemas de reproducción del color, incluido el SIRECRAMT, son establecidos en función de la percepción del color por el órgano visual (James, 1977:561; Kowaliski, 1978:129). Como ya se ha mencionado, el órgano visual presenta tres sensibilidades espectrales conocidas, que corresponden a las bandas de longitudes de ondas cortas, medias, y largas del espectro, y que producen, respectivamente, las sensaciones de color azul, verde y rojo. De acuerdo al grado de absorción de luz experimentada por cada uno de los tres conos fotorreceptores, un estímulo luminoso, se puede especificar en función de tres valores (Kaiser y Boynton, 1996:145); a su vez, sus diferentes combinaciones son suficientes para obtener todos los colores visibles. En la práctica, la mayoría de los procesos de reproducción del color utilizan esta ventaja de su simplificación.

*Reproducción
del color en
función de su
percepción
tricromática*

Según lo anterior, la reproducción del color trata de generar y modular estímulos luminosos relacionados con las tres sensibilidades espectrales que presenta el órgano visual, azul, verde y rojo (Kowaliski, 1978:129; Yule, 1967:29). Con esta finalidad, en el SIRECRAMT, al igual que en la fotografía en color y sistemas de impresión, se emplean tres capas, filtros o registros de color, cuyas curvas espectrales de absorbancia o transmitancia permiten la obtención de los tres estímulos luminosos acordes a las tres sensibilidades espectrales del órgano visual (Burden, 1978:290).

Asimismo, cada una de las capas, filtros o registros de color, permiten controlar de forma individual y selectiva cada una de las tres sensibilidades espectrales que presenta el órgano visual. En el transcurso de la explicación se deducirán los colores concretos de cada uno de dichos registros.

*Número
reducido de
colores*

El SIRECRAMT, al igual que todos los demás procedimientos prácticos para la reproducción del color, fotografía en color, televisión o sistemas de impresión, parte del principio tricromático de la visión, que consiste en obtener un número suficientemente elevado de colores, a partir de la combinación un número reducido de ellos, en concreto tres (Arnheim, 1994:373; James, 1977:561). La cuestión es equilibrar economía y calidad de igual modo que el mecanismo natural del sistema visual.

*Leyes de
mezcla
cromática*

La combinación de este reducido número de colores se realiza teniendo en cuenta una serie de leyes de síntesis o mezcla cromática, las cuales constituyen una propuesta técnica dirigida a simular o interpretar la forma de trabajo del órgano de la vista (Küppers, 1992:151). Estas leyes son unas ideas sistemáticas que tienen por objeto que el órgano visual produzca las sensaciones de color deseadas. El propósito de la mezcla cromática experimental es especificar los estímulos arbitrarios de una muestra de color en términos de una mezcla de tres componentes, generalmente llamados primarios. Esto hace posible la materialización de la reproducción del color en el SIRECRAMT.

Las leyes de mezcla cromáticas establecen tanto las bases cualitativas para la mezcla tradicional del color, desarrolladas en base a la experiencia, como las bases cuantitativas para las técnicas de cálculo (Billmeyer y Saltzman, 1981:134); estas leyes permiten obtener un amplio espacio de colores. Una explicación de las mismas facilitará la comprensión posterior de los aspectos con los que se relacionan.

Sin embargo, antes de proceder a esta explicación es conveniente aclarar dos conceptos: luces de color u cuerpos de color. Las radiaciones que inciden en el ojo de forma directa, o bien indirectamente como resultado de un proceso de reflexión sobre una pantalla o superficie blanca, reciben el nombre de *luces de color* o, en el caso de no ser cromáticas, *luz*. Sin embargo, como se ha definido anteriormente⁸², cuando los colores percibidos son el resultado de la absorción de energía de radiación visible por una materia, se denominan técnicamente *cuerpos de color*; se diferencian de las primeras, en que pueden presentar diversos aspectos, como por ejemplo el ser transparentes u opacos⁸³.

Conceptos

Luces de color

Cuerpos de color

II.2.1.1.- Leyes de mezcla cromática

Según Küppers (1992:177) existen por los menos once leyes de mezcla cromática, aunque sólo tres de ellas tienen una relación directa con el SIRECRAMT; estas leyes cromáticas son: la mezcla aditiva, la mezcla sustractiva y la mezcla óptica, y se explican en los apartados siguientes.

Diferentes leyes

II.2.1.1.1.- Mezcla aditiva

La mezcla aditiva es propia de los procesos de emisión y transmisión de luces de color (Sanz, 1996:164); es el resultado de la actuación conjunta de estímulos luminosos sobre la retina, es decir, se trata de una suma de radiaciones de diversas longitudes de onda⁸⁴ (Küppers, 1992:145). El proceso aditivo se puede realizar de diferentes formas (Gerritsen, 1976:116-118; Hunt, 1957:29); una alternativa consiste en proyectar sobre una pantalla algunas longitudes de onda de

Propia de las luces de color

Distintas formas de mezcla aditiva

⁸² Véase cap. II, ap. II.1.2. *Características y especificación del color*, pág. 104.

⁸³ Véase cap. II, ap. II.1.1.2.5. *Absorción*, págs. 86, 87.

⁸⁴ La lineal aditividad de las luces de color se rige por las leyes de Grassmann.

forma que se superpongan parcialmente. Las zonas donde los haces luminosos se superponen son percibidas por el sistema visual como un color distinto y de más luminosidad que los proyectados individualmente. De igual forma, se produce un proceso de mezcla aditiva en el órgano visual, cuando inciden simultáneamente sobre la retina un conjunto de longitudes de onda del espectro visible; la sensación de color producida se acercará tanto más al blanco cuanto mayor sea el número de radiaciones recibidas.

*Sistema visual:
mezcla aditiva*

Por tanto, los colores percibidos por el sentido de la vista son el resultado de un proceso aditivo, ya que las tres clases de fotorreceptores cromáticos, colocados unos junto a otros en la zona central de la retina, unen los estímulos que reciben. Así, las longitudes de onda que estimulen las tres clases de fotorreceptores en la debida proporción, causarán la sensación acromática de blanco.

*Activación
selectiva de los
conos*

La mezcla aditiva, considerada como un intento técnico para simular el modo de funcionamiento del sistema visual, parte de tres luces de color que, espectralmente, están dispuestas de forma que cada una de ellas active un potencial máximo de sensación en un campo de recepción de conos, y un potencial mínimo en los otros dos; cuestión ciertamente compleja debido al solapamiento de las curvas de sensibilidad de los tres tipos de conos (Véase Fig. II.14), principalmente en la zona espectral de sensibilidad de longitudes de onda media.

*Luces de color
primarias*

Según Wright (1969:104) las tres luces primarias espectrales requeridas⁸⁵ para igualar el resto de los colores espectrales, corresponden a tres longitudes de onda determinadas^{86,87}: λ_A 460, λ_V 530

⁸⁵ La elección de las tres luces primarias la realizó principalmente en base a los datos aportados por personas dicromáticas, a quienes les falta uno u otro tipo de conos.

⁸⁶ Otros autores como Yule (1967:29) en su obra: *Principles of color reproduction*, define estos valores como una banda amplia de longitudes de onda centradas en λ_A 440, λ_V 540 y λ_R 620 nm para las luces azul, verde y roja respectivamente.

⁸⁷ Para la mezcla aditiva en televisión, se toman como valores de longitudes de onda λ_A 470, λ_V 535 y λ_R 610 nm (Burbano, Burbano y Gracia, 1993:758).

y λ_R 650 nm, que convencionalmente se denominan: azul, verde y roja. Según los autores, estos tres estímulos o luces de color son denominados de distintas maneras: primarios aditivos (Agoston, 1987:44; Burden, 1978:35-36; Robinson *et al.*, 1987:166), primarios generativos (Arnheim, 1994:373), colores elementales aditivos (Küppers, 1992:147) y también colores un tercio, debido a que cada uno de ellos corresponde a una tercera parte del espectro (Moreno, 1996:98). Independientemente del término que se utilice hay que tener siempre presente que se trata de luces de color. Por esta razón y con objeto de no cometer interpretaciones erróneas, la referencia que se haga a las tres longitudes de onda: azul, verde y roja, será como luces de color primarias o colores-luz primarios (Astrua, 1982:116-117; Fabris y Germani, 1987:17-23; Martín, 1975:104).

*Distinta
nomenclatura*

Un requerimiento básico de las tres luces primarias consiste en que la combinación de dos de ellas no debe producir la tercera (Burbano, Burbano y Gracia, 1993:758). Por particular utilidad práctica, se añade que las tres luces de color primarias deben permitir obtener, por medio de su mezcla aditiva, una amplia gama de colores, mayor que con la elección de otras luces. La mezcla aditiva constituye el fundamento de la televisión en color.

*Exigencias
técnicas*

Volviendo al ejemplo del proyector y considerando que éste emitiese sobre un fondo negro, con cada una de las tres luces de color primarias: azul, verde y roja, tal y como se muestra en la figura II.23, la suma parcial de las áreas donde se superponen las tres luces correspondería a la luz blanca. En las zonas en las que se superponen de forma binaria las luces de color primarias se conseguirá la aproximación a la luz blanca, pero sin alcanzarla, y los colores obtenidos presentarán mayor luminosidad que los primarios de partida. La luz azul y la verde producen la luz cian (C), la verde y la roja generan la luz amarilla (Am), y la roja y la azul dan la luz magenta (M).

*Mezcla aditiva
de las luces de
color primarias*

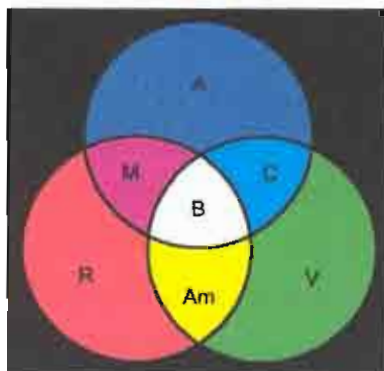


Fig. II.23. La superposición binaria de la proyección en pantalla de los haces luminosos azul, verde y rojo, produce las luces de color amarillo, magenta y cian.

Magenta

Tanto la luz cian como la luz amarilla son visibles en el espectro electromagnético, sin embargo, la luz magenta, nombre adoptado internacionalmente para indicar un color púrpura, no se encuentra en el espectro de la luz blanca ya que resulta de la mezcla o superposición de las luces de los extremos del espectro: azul y rojo (Fabris y Germani, 1987:21; Küppers, 1992:106-107).

Luces complementarias

Una observación detallada de la figura II.23, muestra cómo la luz blanca, puede reconstruirse, además de por superposición de las tres luces de color primarias, superponiendo una luz de color primaria, por ejemplo, la luz verde, sobre una luz binaria, tal como la luz magenta, que a su vez resulta de la suma de las otras dos luces de color primarias, roja y azul. Esta luz de color binaria, magenta, se denomina luz de color complementaria de la luz de color primaria verde. Es decir, dos luces son complementarias cuando mezcladas en una cierta proporción, igualan la luz acromática blanca (Fabris y Germani, 1987:117; Gerritsen, 1976:106; Küppers, 1992:127). Por tanto, la luz amarilla es complementaria de la luz azul, la luz cian es complementaria de la luz roja, la luz magenta es complementaria de la luz verde y, en cualquiera de los casos, de manera inversa. Como muestra la figura II.24, dichas luces de color complementarias ocupan, una posición diametralmente opuesta en el diagrama cromático CIE.

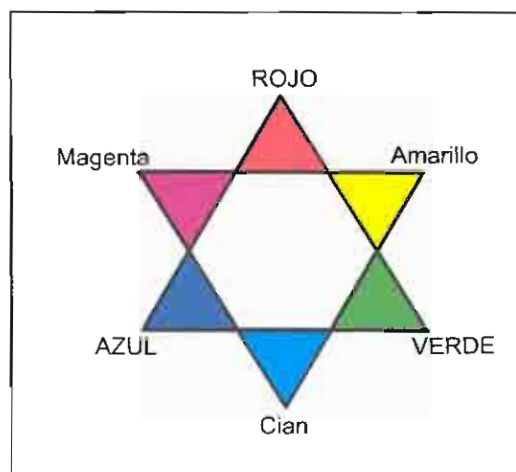


Fig. II.24. Luces complementarias representadas de forma diametralmente opuesta en el diagrama cromático.

II.2.1.1.2.- Mezcla sustractiva

La mezcla sustractiva es propia de los procesos de absorción y transmisión de los cuerpos de color (Sanz, 1996:164). Anteriormente y respecto al fenómeno de absorción⁸⁸, se indicó que diversas sustancias químicas, conocidas como pigmentos, constituyen o recubren los cuerpos de color. Estas sustancias tienen el poder de absorber determinados intervalos de longitud de onda del espectro emitido por una fuente de luz cuando incide sobre las mismas. El poder selectivo del campo de absorción de los cuerpos de color es, potencialmente, mayor en la medida que la fuente luminosa emita un espectro equienergético, o luz blanca.

*Propia de los
cuerpos de
color*

*Absorción
selectiva de los
pigmentos*

Cada pigmento tiene un poder selectivo característico, responsable de que absorba una o varias radiaciones luminosas. Así

⁸⁸ Véase cap. II, ap. II.1.1.2.5. *Absorción*, págs. 86, 87.

pues, mezclando dos pigmentos con distinto poder selectivo de absorción se obtiene una sustracción mayor de radiaciones y, en ciertas combinaciones, se puede llegar hasta la absorción total correspondiente a la ausencia de radiaciones, es decir, al color acromático negro.

*Mezcla aditiva
complementaria
de la mezcla
sustractiva*

La mezcla sustractiva se puede considerar complementaria de la mezcla aditiva (Küppers, 1992:148-149). Así, en la mezcla sustractiva, a partir de una luz blanca se puede llegar al color negro por sustracción de longitudes de onda de radiación, mientras que en la mezcla aditiva partiendo del color negro se llega a la luz blanca por adición de longitudes de onda de radiación. La formación del color en la mezcla sustractiva parte del color acromático blanco.

Tanto los cuerpos de color opacos como los transparentes son sustancias con poder selectivo, esto es, capaces de absorber ciertas longitudes de onda; si bien, en el primer caso reflejan las restantes, y en el segundo caso -cuerpos transparentes- las transmiten. Ambas radiaciones -reflejadas y transmitidas- son las percibidas por el órgano visual (Astrua, 1982:118; Fabris y Germani, 1987:27; Grandis, 1985:53-54).

*Mezcla
sustractiva:
cuerpos de
color
transparentes*

Es de gran importancia subrayar que, en el desarrollo de esta explicación, se identificará la mezcla sustractiva sólo en relación a la mezcla de varios cuerpos de color transparentes, ya que la mezcla de cuerpos de color opacos se rigen por otras leyes, como son la de mezcla cromática e integrada (Küppers, 1992:153, 157); en este sentido, la referencia que se haga de los cuerpos de color opacos, será para mostrar que la absorción selectiva de las longitudes de onda se produce de la misma forma para dos colores iguales, independientemente de que sean opacos o transparentes, pero nunca se debe entender que la mezcla de los colores opacos tiene relación explícita con la ley sustractiva que se define.

En relación a los cuerpos de color transparentes se utilizará el término de filtros o capas de color ya que, por su propia definición, y más concretamente el primer término, parecen estar más relacionados con su función selectiva de absorción espectral.

*Filtros o capas
de color*

En la mezcla sustractiva, la capacidad de absorción de tres capas o filtros de color previamente seleccionados, con respecto a un espectro equienergético, permite obtener una amplia diversidad del espacio de colores mediante combinaciones binarias o ternarias de los mismos (Küppers, 1992:148).

La elección de estos tres colores no es arbitraria ya que al igual que se hiciera en las luces primarias de la mezcla aditiva, cada uno de los colores base no proviene de la combinación de los otros dos; además, estos colores deben ser neutros entre sí, de forma que ninguno de los tres tenga trazas de los otros dos, aunque sí una intensidad igual (Hickethier, s.a.:11).

*Exigencias
técnicas*

Los tres colores de las capas o filtros corresponden a los colores amarillo, magenta y cian. La referencia a los mismos se hace mediante diferentes términos: colores base (Astrua, 1982:119; Fabris y Germani, 1987:33; Martín, 1975:109), colores elementales por sustracción (Küppers, 1992:148) o colores primarios sustractivos (Palazzi, 1995:18); siendo este último, el término utilizado por la mayoría de los autores.

*Colores
primarios
sustractivos*

Cada uno de estos tres colores: amarillo, magenta y cian, tienen por objeto absorber el campo de radiaciones al que es sensible cada tipo de conos fotorreceptores presentes en la retina (Küppers, 1992:148-149).

Para determinar el poder selectivo de absorción de los cuerpos de color opacos o transparentes, se parte de una fuente luminosa de espectro equienergético, cuya representación esquemática se

corresponde con tres zonas espectrales: azul, verde y roja, relacionadas con los tres campos de sensibilidad espectral de los conos fotorreceptores.

*Activación
selectiva de los
conos
fotorreceptores*

Cada uno de los tres colores base sustractivos absorbe una parte de las longitudes de onda del espectro equienergético que incide sobre los mismos, tal y como se muestra en las figuras II.25 y II.26. El color

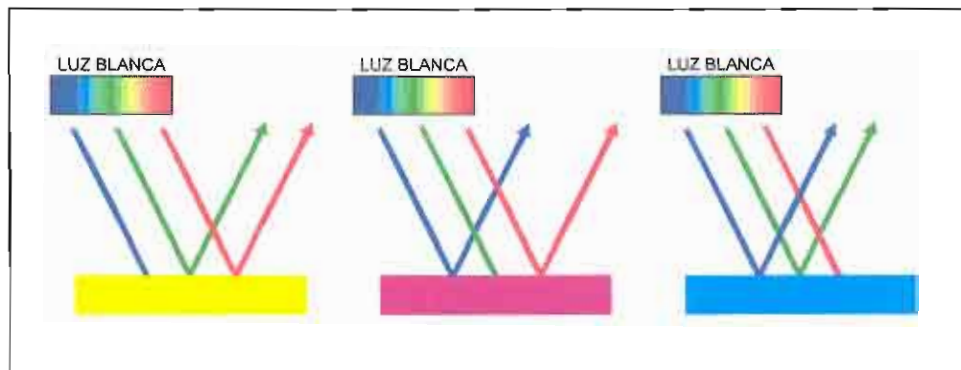


Fig. II.25. Absorción y reflexión de longitudes de onda de la luz blanca en cada uno de los tres colores base sustractivos considerados como cuerpos de color opacos. El color base amarillo absorbe la radiación azul y refleja la radiación roja y verde; el color base magenta absorbe la radiación verde y refleja la radiación azul y roja, y el color base cian absorbe la radiación roja y refleja la radiación verde y azul.

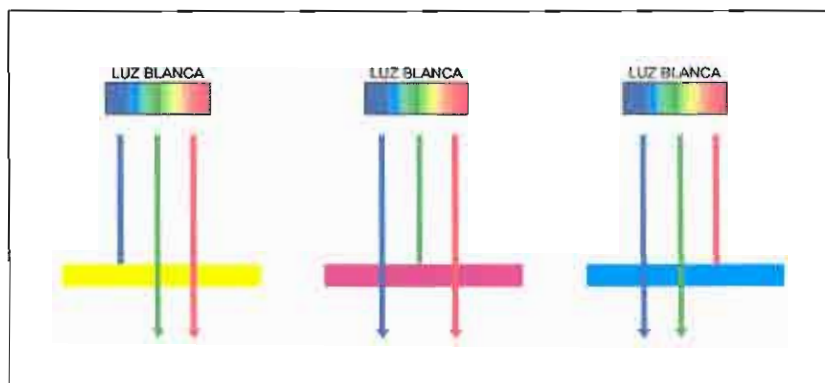


Fig. II.26. Absorción y transmisión de longitudes de onda de la luz blanca en cada uno de los tres colores base sustractivos considerados como cuerpos de color transparentes (filtros). El color base amarillo absorbe la radiación azul y transmite la radiación roja y verde; el color base magenta absorbe la radiación verde y transmite la radiación azul y roja, y el color base cian absorbe la radiación roja y transmite la radiación verde y azul.

base amarillo absorbe la radiación de longitudes de onda cortas, de tal forma que el campo de recepción correspondiente a los conos sensibles al azul -longitudes de onda cortas- no reciba estímulo de color y, por consiguiente, tampoco active ningún potencial de sensación; el color magenta absorbe las longitudes de onda medias, de manera que el campo de recepción correspondiente a los conos sensibles al verde -longitudes de onda medias- no reciba el correspondiente estímulo de color; por último, el color cian absorbe las longitudes de onda largas, de forma que el campo de recepción correspondiente a los conos sensibles al rojo -longitudes de onda largas- no reciba, tampoco, estímulo de color. De acuerdo a esto, como define Wright (1969:200), puede resultar más fácilmente comprensible referirse a los colores amarillo, magenta y cian, en relación a los tres estímulos de mezcla tricromática aditiva, como menos azul, menos verde y menos rojo.

A efectos prácticos se puede considerar que cada uno de los colores base: amarillo, magenta y cian, transmiten o reflejan dos tercios de las longitudes de onda del espectro (azul, verde y roja) y absorben el resto, es decir, un tercio (Tabla II.1). El color amarillo transmite o refleja las longitudes de onda medias y largas -zona espectral verde y roja-, y absorbe las longitudes de onda cortas -zona espectral azul-; el color cian transmite o refleja las longitudes de onda cortas y medias -zona espectral azul y verde- y absorbe las longitudes de onda largas -zona espectral roja-; el color magenta transmite o refleja las longitudes de onda cortas y largas -zona espectral azul y roja- y absorbe las longitudes de onda medias -zona espectral verde-.

Tabla II.1. *Absorción selectiva de los tres colores base*

	LUZ ABSORBIDA	LUZ TRANSMITIDA O REFLEJADA
Cian = Luz verde + Luz azul	ROJA	VERDE + AZUL
Magenta = Luz roja + Luz azul	VERDE	ROJA + AZUL
Amarillo = Luz roja + Luz verde	AZUL	ROJA + VERDE

Suma aditiva de las radiaciones transmitidas o reflejadas

A su vez, ante el conjunto de radiaciones transmitidas -cuerpos de color transparentes- o reflejadas -cuerpos de color opacos- por cada uno de los colores base, el órgano visual aprecia una sensación de color única, correspondiente a la suma aditiva de las mismas. Así, la suma aditiva de las longitudes de onda cortas y medias -zona espectral azul y verde- genera una sensación de color cian, como ya se indicó en el apartado correspondiente a la mezcla aditiva⁸⁹.

En sí misma, la mezcla sustractiva corresponde a las combinaciones binarias o ternarias (Figs. II.27 y II.28) de los filtros de colores base sustractivos, amarillo, magenta y cian, los cuales permiten obtener diferentes colores de acuerdo a las proporciones de las longitudes de onda transmitidas o reflejadas simultáneamente.

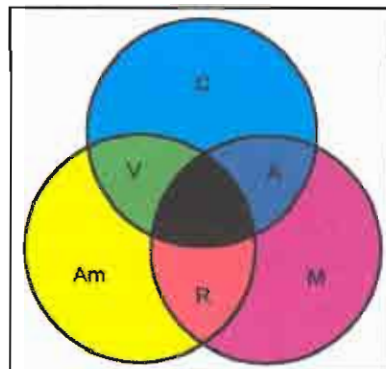


Fig. II.27. La mezcla binaria de los tres colores base sustractivos amarillo, magenta y cian, produce los colores azul, verde y rojo, y la mezcla ternaria, el color acromático negro, correspondiente a la absorción total de la luz incidente.

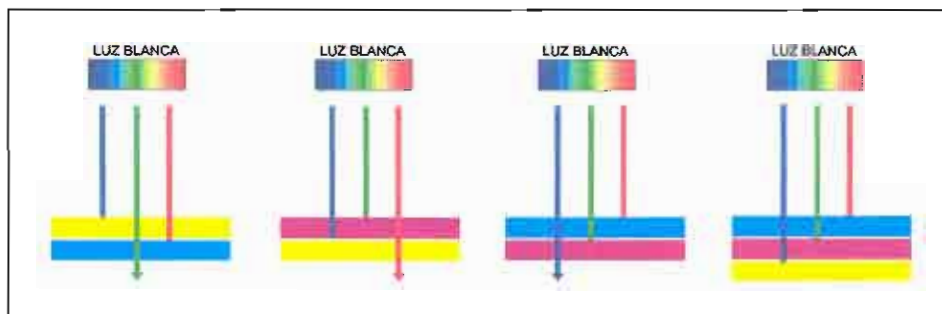


Fig. II.28. Absorción y transmisión de longitudes de onda de la luz blanca correspondientes a las combinaciones de los tres colores base sustractivos, considerados como cuerpos de color transparentes (filtros).

⁸⁹ Véase cap. II, ap. II.2.1.1.1. *Mezcla aditiva*, pág. 123.

Desde un punto de vista teórico, el valor acromático de un matiz de color está compuesto por cantidades parciales de los colores acromáticos blanco y negro. En la mezcla sustractiva, las cantidades parciales del negro no se forman con un pigmento o colorante negro, sino a partir de las correspondientes cantidades proporcionales de los tres colores base sustractivos: amarillo, magenta y cian.

*Valor
acromático*

La mezcla sustractiva solamente es referida a los filtros de color -cuerpos de color transparentes-, y no a los cuerpos de color opacos ya que, como es obvio, varios cuerpos de color opacos superpuestos no actuarían conjuntamente en su capacidad de absorción al realizar la mezcla sustractiva; como se muestra en la figura II.29, en este caso únicamente sería la última capa de color aplicada la que absorbiese y reflejase selectivamente la luz incidente, no interviniendo el estrato de color subyacente. Es por ello que el desarrollo completo de la mezcla sustractiva cuando participan varios estratos de color, se debe entender en referencia a cuerpos de color transparentes -filtros de color-.

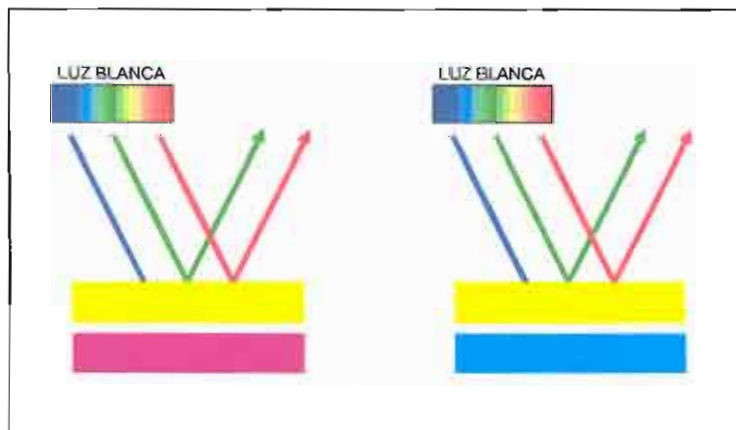


Fig. II.29. En las capas de colores opacos superpuestos, las longitudes de onda absorbidas y reflejadas siempre corresponderán a la última capa de color aplicada; en el caso que muestra la figura, a la capa de color amarillo.

*Colores
complementarios*

La parte correspondiente a las longitudes de onda absorbida por los colores base es siempre complementaria a la parte de las longitudes de onda transmitidas o reflejadas, ya que su suma aditiva da como resultado la luz blanca o espectro equienergético que antes existía (Gerritsen, 1976:106; Moreno, 1996:99). Si bien, también se puede entender que dos colores son complementarios entre sí cuando, al superponerse en mezcla sustractiva, dan lugar al color acromático negro. Así, por ejemplo, el color base magenta tiene como complementario el color verde, ya que superpuestos en mezcla sustractiva, el color magenta absorbería la longitud de onda verde, y el color verde (cian + amarillo) las longitudes de onda roja y azul. Como se muestra en la figura II.30, la representación en el círculo cromático de los colores base y de sus respectivos colores complementarios corresponde a posiciones diametralmente opuestas.

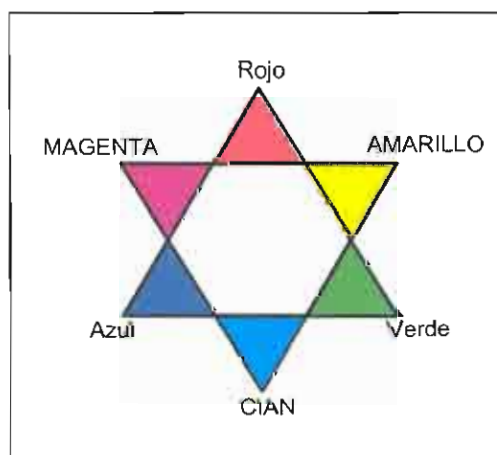


Fig. II.30. Colores base amarillo, magenta y cian, con sus respectivos complementarios, representados diametralmente opuestos en el círculo cromático. La mezcla sustractiva de un color base con su respectivo color complementario da lugar al color acromático negro.

*Resultado de
la mezcla :
menor
intensidad*

El color resultante de la mezcla sustractiva presenta siempre una intensidad relativa menor que cada uno de los colores que forman parte de ella (Albers, 1985:40; Gerritsen, 1976:71; Sanz, 1996:166); así por ejemplo, el color verde, resultado de la sustracción de un filtro de color amarillo y otro cian, presenta menor intensidad relativa que el color amarillo y que el color cian (Fig. II.27).

En cada uno de los filtros de color, el volumen de absorción corresponde a la cantidad de color existente. Cuanto mayor sea la cantidad de color, más radiación será absorbida y menos transmitida. Según lo expuesto en el apartado sobre la interacción luz-materia⁹⁰, y de acuerdo a la ley de Beer, la cantidad de radiación absorbida resulta igual cuando la luz pasa a través de la misma cantidad de material absorbente; por otro lado, la ley de Lambert establece que a igual grosor de material se produce igual cantidad de absorción. Posteriormente se mostrará cómo algunos fenómenos internos de reflexión de luz así como ciertas impurezas del color (opacidad), limitan el cumplimiento exacto de estas leyes, por lo que son estrictamente ciertas para luz monocromática y para fenómenos de transmisión, y no así en el caso de procesos de reflexión con supuestos colores ideales (Yule, 1967:206).

Capacidad de absorción

Ley de Beer

Ley de Lambert

La expresión matemática que recoge ambas leyes se conoce como ley de Lambert-Beer y se muestra en la siguiente ecuación:

$$A = \log 1/T = a \cdot b \cdot c \quad (\text{II.4})$$

donde A es la absorbancia y T la transmitancia. La absorbancia (A) se define como el producto de la absorción característica del colorante a la longitud de onda específica (a)⁹¹, por el grosor de la muestra (b) y por la concentración del colorante (c).

Absorbancia

En el supuesto de la superposición de tres filtros de color en mezcla sustractiva se aplica una segunda parte de esta ley, por la que se establece que la suma de las absorciones correspondientes a cada filtro de color añadido es igual a la absorbancia total de la muestra.

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = a_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + a_2 \cdot b_2 \cdot c_2 + a_3 \cdot b_3 \cdot c_3 \quad (\text{II.5})$$

⁹⁰ Véase cap. II, ap. II.1.1.2.5. *Absorción*, págs. 87, 88.

⁹¹ La magnitud a se denomina *absortividad*, y es una constante de proporcionalidad.

Transmitancia

A su vez, la transmitancia (T) a la longitud de onda específica, es obtenida a partir de la absorbancia (A):

$$T = 1 / \text{anti log } A \quad (\text{II.6})$$

Los valores de transmitancia obtenidos dentro del intervalo de longitudes de onda del espectro visible, correspondientes a una mezcla de los filtros de color, permiten determinar los valores triestímulo X, Y y Z, y a partir de éstos medir objetivamente el color⁹².

Lógicamente, la curva de transmitancia espectral de cada uno de los filtros de colores base sustractivos, tiene una influencia importante en el color resultante de su mezcla sustractiva.

*Mezcla
sustractiva
compleja*

Aunque hasta este punto se ha definido la mezcla sustractiva de forma que la porción de radiación sustraída se relaciona exclusivamente con fenómenos de absorción, habitualmente ocurre que los colorantes⁹³ utilizados en la elaboración de los filtros de color absorben y dispersan la luz simultáneamente, especialmente en los cuerpos de color opacos. Esta mezcla sustractiva, en la que se producen fenómenos de absorción y dispersión, es denominada por Billmeyer y Saltzman (1981:139-140) como *mezcla sustractiva compleja*.

*Ecuaciones de
Kubelka y
Münk*

Para un uso práctico, las ecuaciones más utilizadas en la mezcla sustractiva compleja son las establecidas por Kubelka y Münk (Kubelka, 1948:455; Kubelka, 1954:332). Constituyen las bases del cálculo virtual de todos los colores mezclados en sistemas opacos. Los cálculos se realizan a partir de los coeficientes de absorción (k) y de dispersión (s) de cada uno de los pigmentos a unas determinadas longitudes de onda.

⁹² Véase cap. II, ap. II.1.2.3.2. *Sistema CIE*, pág. 113.

⁹³ Se utiliza el término colorante en su sentido más sencillo de sustancia que da color a algo; de forma que este término engloba tanto a tintes como a pigmentos.

La ley de mezcla sustractiva descrita permite la reproducción del color a partir de los tres colores base sustractivos (tricromía) en el SIRECRAMT, así como en la industria de las artes gráficas y en la fotografía en color.

II.2.1.1.3.- Mezcla óptica

Cuando se mira un texto de una página impresa en letras negras a una cierta distancia se percibe una mancha gris, debido a que los detalles de las letras son demasiados pequeños para ser resueltos por el mosaico de células fotorreceptoras de la retina. Igualmente, este efecto tiene lugar cuando puntos yuxtapuestos de tres colores diferentes son vistos en una pantalla de televisión o en una impresión policroma sobre papel. Los artistas también hacen uso de este comportamiento del ojo cuando generan áreas de sombra por medio de rayas más o menos próximas en aguafuerte y dibujos. Asimismo, también ocurre en las pinturas ejecutadas con la técnica del puntillismo cuando son observadas a una distancia tal que los trazos de pintura de diferentes colores no se aprecien individualmente. En todos los ejemplos citados, la mezcla de color percibida no existe materialmente, sino que es fruto de una ilusión óptica, concretamente del resultado de la mezcla óptica de los colores componentes.

*Ejemplos de
mezcla óptica*

Ilusión óptica

En la mezcla óptica, las emisiones de luz de diferentes estímulos de color son combinadas en el proceso visual cuando inciden sobre la misma porción de la retina, pero sin superponerse (Agoston, 1987:43; Albers, 1985:47); esto sucede cuando la capacidad de resolución de la retina no permite resolver los detalles de la imagen individualmente (Agoston, 1987:43; Jamenson y Hurvich, 1975:129; Küppers, 1992:178; Moreno, 1996:108).

*Resolución de
la retina*

Existen diferentes términos para definir la mezcla óptica o visual, como son: mezcla de color por promedio (Agoston, 1987:44), mezcla

Nomenclatura

mixta (Fabris y Germani, 1987:34) o mezcla partitiva (Gerritsen, 1976:71).

*Diferencia
entre mezcla
aditiva y
mezcla óptica*

Ante la posibilidad de que pueda surgir una cierta confusión entre la mezcla aditiva y la mezcla óptica, es necesario aclarar que la combinación de las diferentes longitudes de onda en la mezcla aditiva se produce antes de que llegue al ojo, mientras que en la mezcla óptica esta combinación tiene lugar en el propio órgano visual (Agoston, 1987:43). Por otra parte, como define Agoston (1987:44), la energía de dos radiaciones combinadas en la mezcla cromática aditiva es el resultado de la suma de energía de las dos radiaciones iniciales, siendo la luminosidad generalmente incrementada. En la mezcla óptica o promedio, el resultado de la energía de las radiaciones combinadas en el órgano visual es un valor promedio de las mismas, produciéndose generalmente un tono y luminosidad medio (Gerritsen, 1976:123).

II.2.2.- Aspectos técnicos

Una vez definidas las leyes fundamentales de mezcla cromática que afectan directamente a la reproducción del color en relación al SIRECRAMT, en este apartado se describen los aspectos técnicos que, realmente, hacen posible la reproducción cromática.

Como ya se ha indicado⁹⁴, la reproducción del color en el SIRECRAMT debe considerarse como una duplicación de la sensación cromática del color a reproducir. De la triada de elementos partícipes en la generación de una sensación cromática -fuente luminosa, objeto y observador-, se ha podido observar cómo, en la mayoría de los casos, las posibilidades de actuación sobre alguno de ellos se limitaba al objeto⁹⁵, puesto que su curva espectral de transmitancia o reflectancia

⁹⁴ Véase cap. II, ap. II.2. *Reproducción del color*, pág. 115.

⁹⁵ Véase cap. II, ap. II.2. *Reproducción del color*, pág. 117.

puede ser modificada. En el SIRECRAMT, el objeto es considerado como la conjunción de tres elementos: soporte, pigmentos y puntos de medio tono; la actuación sobre estos elementos permite poder modificar la curva espectral generada y, por lo tanto, estar en condiciones de poder duplicar la curva espectral del color original a reproducir.

*Soporte,
pigmentos y
puntos de
medio tono*

La comprensión de la reproducción del color así planteada se hará evidente a medida que se vaya explicando la función que tiene cada uno de estos elementos: soporte, pigmentos y puntos de medio tono. No obstante, se puede adelantar que, básicamente, la cuestión se resume en las posibilidades de control de los tres colores base mediante la utilización de puntos de diferentes tamaños; de este modo se pueden duplicar con mucha aproximación las luces roja, verde y azul que componen el color original a reproducir.

II.2.2.1.- Función del soporte

Al igual que en las artes gráficas y en la fotografía en color, para la reproducción del color por tricromía en el SIRECRAMT, se parte de los colores base sustractivos, amarillo, magenta y cian, utilizados como capas transparentes o filtros de colores; lógicamente, y en la medida que las posibilidades técnicas lo permitan, estos tres colores base deben ser *transparentes*.

Según se muestra en la figura II.31a, la percepción cromática de un filtro de color se realiza a partir de la radiación transmitida por dicho filtro, siendo necesario que el observador y la fuente luminosa estén situados a ambos lados del filtro de color y en puntos opuestos. Esta misma situación es la que corresponde cuando se observa, por ejemplo, una diapositiva.

*Observación
del color*

Sin embargo, son mucho más habituales las situaciones en las que el observador percibe el color por reflexión de la radiación sobre

una superficie, tal como ocurre al leer un libro o al observar una imagen pictórica. Concretamente, y en relación con esta investigación, si la percepción de una obra pictórica objeto de reintegración se hace por reflexión, el color reproducido por el sistema que se desarrolla, deberá ser percibido igualmente por reflexión.

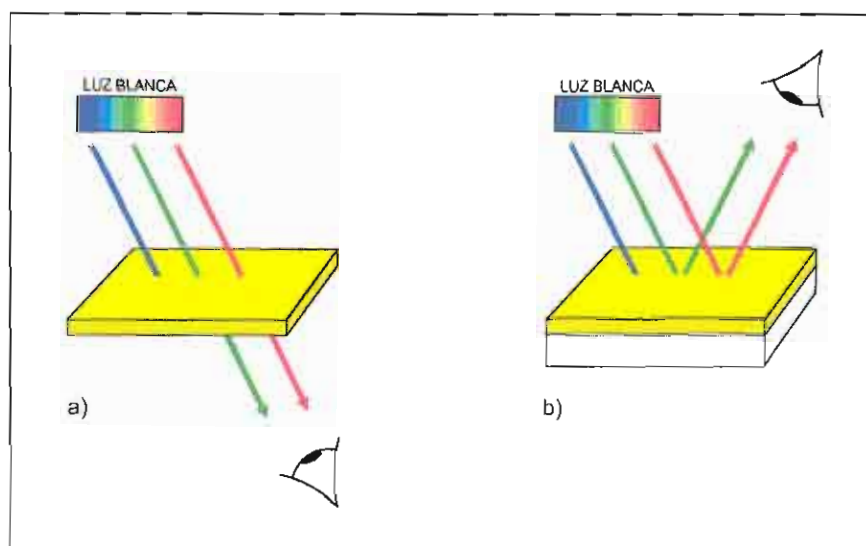


Fig. II.31. Esquema de observación de un filtro de color base amarillo: a) la radiación luminosa es transmitida selectivamente y observada a través del filtro; b) en la parte inferior del filtro se ha colocado un soporte blanco, el cual remite al mismo plano de incidencia la radiación transmitida por el filtro.

Por lo tanto, si en la reproducción del color se parte de filtros o capas de los colores base sustractivos transparentes, es necesario modificar la radiación transmitida por los mismos, de forma que sea reflejada y pueda ser observada en las mismas condiciones que el color original a reproducir (Fig. III.31b). Para ello es necesario situar al observador y a la fuente luminosa en el mismo plano, concretamente, a un lado de la superficie del filtro de color; asimismo, el desarrollo del fenómeno de reflexión se consigue mediante la utilización de una base o soporte opaco de color blanco, que remita difusamente y hacia la superficie, la radiación transmitida por el filtro de color (Yule, 1967:151). Siguiendo con el ejemplo fotográfico, en una fotografía en color esta superficie correspondería al soporte de papel (blanco) y en el SIRECRAMT a las áreas estucadas de color blanco.

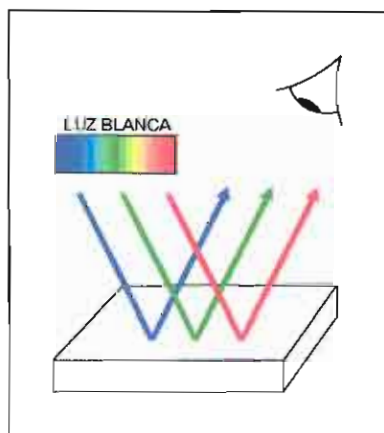
*Soporte blanco
reflector*

Por tanto, para la reproducción del color por mezcla sustractiva en el SIRECRAMT, al igual que en la fotografía y en la reproducción impresa, es necesario partir de una base o soporte de color acromático blanco, con el fin de poder observar el color reproducido por reflexión.

En relación a lo expuesto sobre la función del soporte, se puede considerar que, además de su función implícita como soporte material de los estratos de color, actúa como un reflector de la radiación que incide sobre su superficie (Kodak, 1980:2). Concretamente, todas las longitudes de onda emitidas por una fuente luminosa (espectro equienergético), que incidan sobre ésta, deben ser reflejadas de forma difusa y uniforme en su totalidad, sin que ninguna de ellas sea absorbida selectivamente. De esta forma, el observador percibirá una sensación única de color blanco, correspondiente a la suma aditiva de las longitudes de onda reflejadas (Fig. II.32).

Función

Fig. II.32. Soporte blanco como reflector de todas las longitudes de onda emitidas por una fuente luminosa.



Como se indicó al tratar el tema de superficies opacas de color (Véase Fig. II.29), si el soporte reflector fuese coloreado limitaría la luz reflejada a un campo espectral restringido, es decir, determinadas longitudes de onda serían absorbidas. Por esta razón, la composición espectral de la luz remitida por la superficie del soporte de partida es decisiva en la calidad de la reproducción del color (Küppers, 1994:147).

Limitaciones

El supuesto ideal del soporte blanco definido correspondería a un blanco absoluto, que reflejase el cien por cien de la luz que incide sobre él; no obstante, la realidad muestra que no existen tales soportes o superficies ideales⁹⁶ (Grandis, 1985:54). Así, los soportes pueden presentar distintos tonos de blanco en relación a su poder de reflexión; para su especificación se considera que el color blanco es una combinación de la luminancia y neutralidad del mismo, propiedades que pueden ser evaluadas mediante normas concretas (UNE 40-399-88).

Características Como características que debe presentar todo soporte se pueden establecer por un lado la de ser blanco con un alto poder de reflexión, opaco, uniforme y que reduzca lo más posible el fenómeno de dispersión, y por otro lado, la de no generar brillo, fluorescencia u otro fenómeno de apariencia que modifique el color.

Aspectos negativos

Fluorescencia La posible fluorescencia que pudiese presentar un soporte de color blanco, interferirá en la reproducción del color, al ocasionar una pérdida de saturación, principalmente de los colores amarillos claros, asimismo, también interferirá en la medida del color.

Amarilleamiento Otro aspecto que interfiere en el color es la degradación del propio soporte, que tiene una relación directa con la alteración cromática del color que sustenta. En el proceso de reintegración, el soporte se corresponde con el estuco utilizado para nivelar la superficie de las lagunas con la capa pictórica. La alteración del estuco, como soporte reflector, está relacionada con el amarilleamiento del aglutinante utilizado en su elaboración. Este amarilleamiento es provocado por la absorción que ciertos grupos cromóforos ejercen sobre la radiación azul del espectro (Staniforth, 1985:104-105). Como consecuencia de esta alteración, el soporte pierde su función de reflector

⁹⁶ Un *cuerpo blanco perfecto* corresponde a aquel que al recibir radiaciones visibles, las refleja en todas las direcciones, sin absorber energía radiante; su factor de reflexión es la unidad para todas las longitudes de onda del espectro visible. Sin embargo, un *cuerpo blanco real*, será aquel que tiene el mismo factor de reflexión, muy cercano a la unidad, para todas las longitudes de onda visibles (Burbano, Burbano y Gracia, 1993:757-758).

neutral de luz al absorber parte del espectro, interfiriendo en el color final de la reproducción (Yule, 1967:187).

Como resumen de todo lo anterior, señalar los siguientes puntos:

- Para la reproducción del color en el SIRECRAMT se parte de un soporte reflector de color blanco que básicamente refleje las tres luces fundamentales del espectro: azul, verde y roja (se considera una fuente lumínica que presenta un espectro equienergético).
- En la medida en que se puedan controlar selectivamente las longitudes de onda reflejadas por el soporte blanco se está en condiciones de reproducir el color.
- El control selectivo de las longitudes de onda reflejadas se efectúa a través de los pigmentos con los que se elaboran los filtros de color.

II.2.2.2.- Función de los pigmentos

Todos los procedimientos prácticos para la reproducción del color, parten del principio de que se puede producir un elevado número de colores por combinación de un reducido número; en el sistema de reintegración que se desarrolla en esta investigación, son los tres colores base sustractivos: amarillo, magenta y cian.

*Amarillo,
magenta y cian*

Como se indicó en relación a la mezcla sustractiva, tanto en la fotografía en color como en la reproducción por tricromía que nos ocupa, los colores base sustractivos actúan como capas filtrantes de la radiación. Cada una de ellas absorbe un determinado campo espectral de

*Absorción
espectral
selectiva*

la luz blanca, y cuando se superponen, actúan conjuntamente en su capacidad selectiva de absorción.

Por lo tanto, para controlar selectivamente las longitudes de onda reflejadas por el soporte blanco, se utilizan estas capas de colores base, cada una de las cuales absorbe un determinado campo espectral de la luz (azul, verde y roja) que el ojo recibe. Así, la capa filtrante del amarillo absorbe la luz de onda corta, la correspondiente al magenta, la luz de onda media, y la del cian, la luz de onda larga dentro del espectro visible; es decir, el campo de sensibilidad del ojo a la radiación azul es controlado por el color base amarillo, el campo de sensibilidad a la radiación verde es controlado por el color base magenta, y el campo de sensibilidad a la radiación roja por el color base cian. En consecuencia, sobre los tres registros de sensibilidad de nuestro ojo se efectúa un control individual por medio de los tres colores base sustractivos.

*Color: luz
restante*

En el apartado de la mezcla sustractiva⁹⁷, se explicó la forma en que cada una de las capas filtrantes sustrae de la luz existente un campo parcial del espectro y deja pasar el resto. En consecuencia, los matices de color surgen como luz restante; solo la parte restante, que no ha sido absorbida por una de las tres capas filtrantes, es la que puede incidir sobre el ojo del observador y provocar una sensación de color.

*Combinación
de los tres
colores base*

Como se muestra en la figura II.33, la combinación cualitativa de los tres colores base sustractivos da lugar a la percepción de seis colores cromáticos: amarillo, magenta, cian, verde, rojo y azul, y a dos colores acromáticos: blanco y negro. Estos colores corresponden, según lo explicado en la percepción del color, a las ocho posiciones extremas de sensibilidad del órgano de la vista⁹⁸.

⁹⁷ Véase cap. II, ap. II.2.1.1.2. *Mezcla sustractiva*, pág. 128.

⁹⁸ Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, pág. 102.

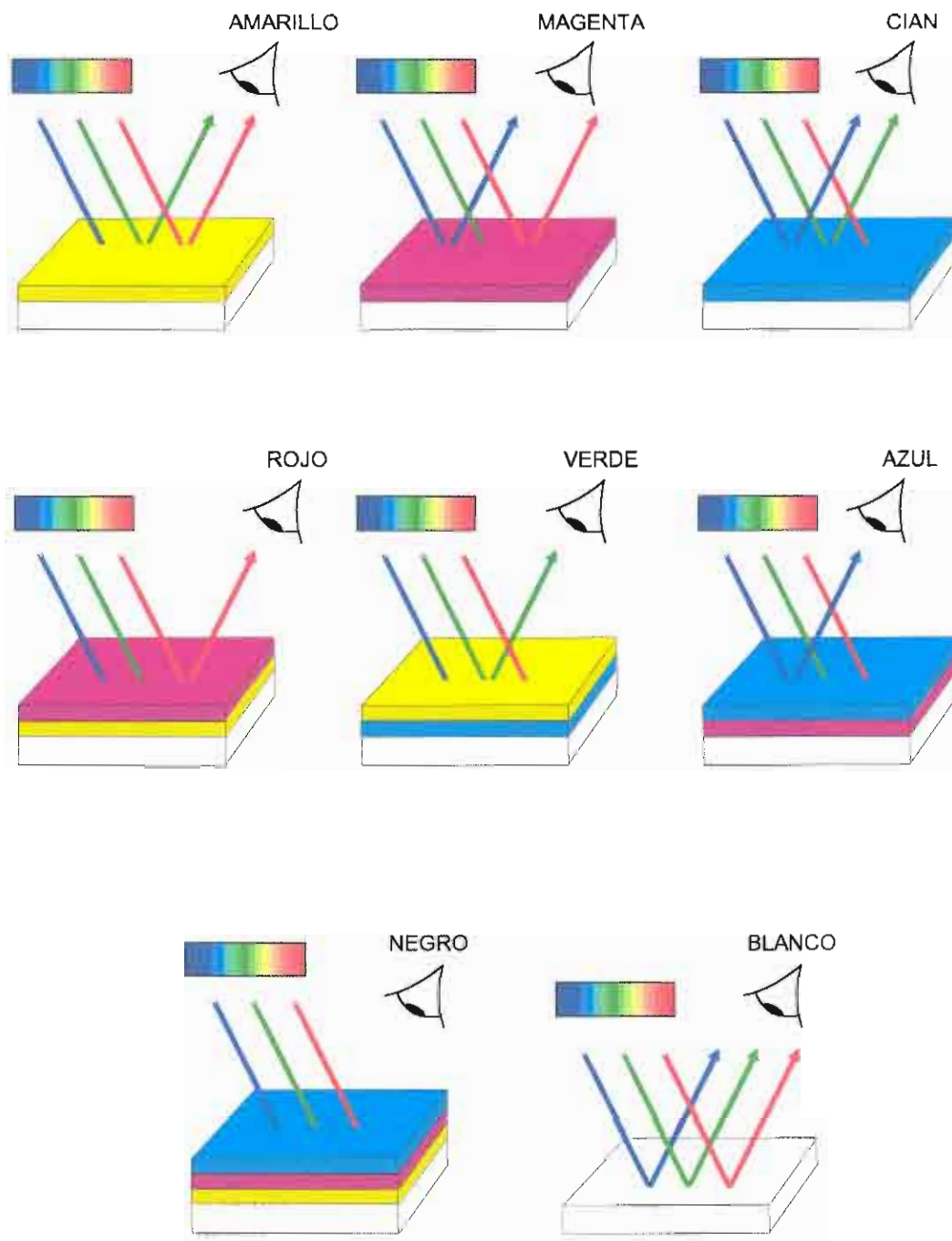


Fig. II.33. Absorción selectiva de la radiación espectral de acuerdo a las diferentes combinaciones posibles de los tres colores base sustractivos. La mezcla aditiva de las radiaciones de luz no absorbidas produce la sensación correspondiente de color en el observador.

*Trayectoria de
propagación
de la luz a
través de las
capas*

En la figura II.33, se puede observar que la propagación de la luz a través de las capas o filtros de color se produce en dos etapas, una de entrada y otra de salida (Yule, 1967:15). Por ejemplo, si se considera la capa de color cian sobre el soporte blanco, la luz azul y verde será transmitida, y la luz roja absorbida; la luz incidente pasa a través de la capa de color cian, el cual absorbe la mayor parte de la luz roja, y continua con su trayectoria de propagación hasta incidir sobre el soporte blanco donde toda la luz que llega es reflejada; ésta pasa de nuevo en su trayectoria de salida a través de la capa de cian, donde de nuevo es absorbida más luz roja.

*Valores
acromáticos*

En la mezcla sustractiva de los tres colores base, los valores extremos acromáticos negro y blanco surgen, el primero, a partir de la coincidencia total en la superposición de las tres capas filtrantes y, el segundo, de la ausencia de las tres capas filtrantes, con lo que se obtiene el color acromático blanco del soporte.

*El color negro
obtenido no es
absoluto*

Según lo anterior, para la obtención del color acromático negro, las tres capas de color base deben absorber conjuntamente toda la radiación espectral incidente; por tanto, es necesario que los tres colores base absorban en la misma proporción sus respectivas radiaciones: color base amarillo, radiación azul; color base magenta, radiación verde, y color base cian, radiación roja. Si esta condición no se cumple, no existirá equilibrio entre los tres colores base y el color negro obtenido no será neutro, sino que tendrá una cierta tonalidad correspondiente a la radiación absorbida en menor cantidad. Este inconveniente se da en la práctica debido a la imperfección de los colores base disponibles (Hunt, 1957:39; Küppers, 1994:152).

En base a lo expuesto, se puede decir que en la mezcla sustractiva por tricromía se cuenta realmente con la presencia de cuatro colores, ya que junto a los tres colores base sustractivos -amarillo, magenta y cian-, en forma de capas filtrantes, se encuentra el color acromático blanco

correspondiente al soporte, del cual no se puede prescindir (Küppers, 1994:151).

Conviene indicar que en las definiciones anteriores, se han considerado los filtros o capas de color de cada uno de los colores base en su comportamiento selectivo ideal. Sin embargo, estos colores base ideales: amarillo, magenta y cian, no se pueden obtener en la práctica, ya que con los colorantes actualmente disponibles resulta imposible la elaboración de filtros de color perfectos (Burden, 1978:292; Clerc, 1975:893-894; Fabris y Germani, 1987:46; Kodak, 1980:6; Küppers, 1992:35). Por otra parte, su elección está condicionada a las exigencias técnicas del proceso de reintegración y de reproducción del color por mezcla sustractiva, de tal forma que de nada sirve que exista un color base cuya absorción selectiva sea perfecta, si su comportamiento frente a agentes externos (luz, calor, humedad, ácidos, etc.) altera su color inicial de forma rápida y considerable, o bien, el color es selectivamente perfecto pero es opaco.

*Imperfección
de los
pigmentos*

Estas limitaciones son responsables de que los colores base reales disponibles no tengan, en la mayoría de los casos, un color que se pueda denominar *puro*, ya que ninguno de ellos es un absorbente perfecto, y presentan absorciones considerables en partes del espectro donde deberían tener el cien por cien de transmisión (Hunt, 1957:39). Cada color base real se comporta como si estuviese contaminado por los otros dos.

Color base cian .- El color base cian *ideal* absorbe o sustrae la porción roja de la luz blanca (Fig. II.34). En el lugar donde se aplica este color, sólo las porciones azul y verde de la luz blanca llegan al soporte blanco que las refleja. Mezclada en el cerebro esta combinación de azul y verde se aprecia como color cian.

*Absorción:
cian ideal*

Sin embargo, el color cian *real* absorbe no sólo la luz roja, sino también una buena parte de la luz verde y cierta cantidad de la

*Absorción:
cian real*

azul (Fig. II.35); es como si estuviera contaminado por los colores absorbentes de las luces verde y azul (magenta y amarillo).



Fig. II.34. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base cian *ideal*.



Fig. II.35. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base cian *real*.

Color base amarillo .- El color base amarillo *ideal* absorbe o sustrae la porción azul de la luz blanca (Fig. II.36). Las áreas donde existe color amarillo sólo reciben y reflejan la luz verde y roja. Esta combinación de rojo y verde, mezclada en el cerebro, da la sensación de color amarillo.

*Absorción:
amarillo ideal*

Si bien el color amarillo *real* es casi puro, además de absorber la luz azul también absorbe una parte de luz verde (Fig. II.37), por lo que se comporta como si contuviera una cierta cantidad del color absorbente de la porción verde de la luz (magenta).

*Absorción:
amarillo real*

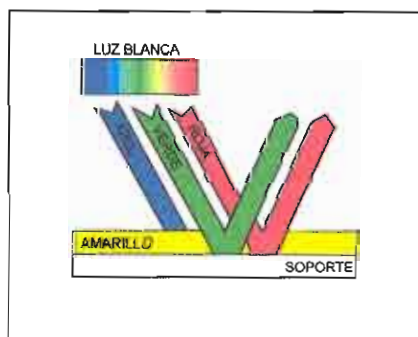


Fig. II.36. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base amarillo *ideal*.

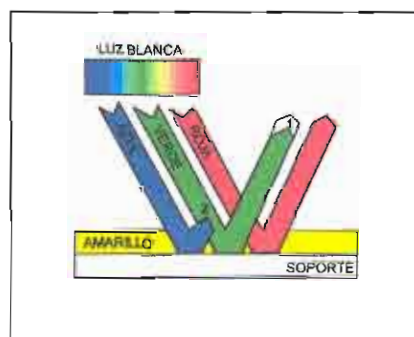


Fig. II.37. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base amarillo *real*.

Color base magenta .- El color base magenta *ideal* absorbe o sustrae la porción verde de la luz blanca (Fig. II.38). Donde existe color magenta, sólo la luz de los colores rojo y azul llega al soporte y es reflejada por él. Esta combinación de luz roja y azul, mezclada en el cerebro, da la sensación de color magenta.

*Absorción:
magenta ideal*

Sin embargo, el color base magenta *real*, al no ser perfecto, absorbe no sólo la luz verde, sino también parte de la azul y un poco de la roja (Fig. II.39). Actúa como si estuviera contaminado por los colores que deben absorber la luz azul y roja (amarillo y cian).

*Absorción:
magenta real*



Fig. II.38. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base magenta *ideal*.



Fig. II.39. Absorción espectral de la luz blanca por parte del color base magenta *real*.

Las curvas espectrales de transmisión de los colores base disponibles recogidas en la figura II.40, muestran importantes diferencias con respecto a las curvas espectrales de transmisión de los colores base ideales.

*Curvas
espectrales de
transmisión*

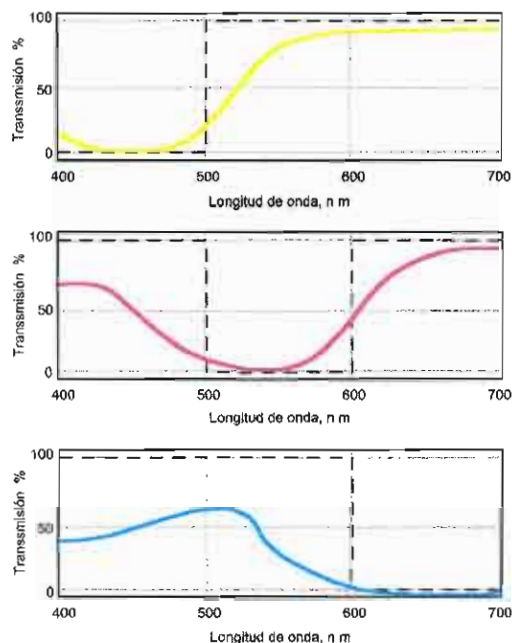


Fig. II.40. Las curvas de transmisión de los colores base sustractivos utilizados en la reproducción del color (trazo continuo de color) se apartan notablemente de los colores ideales (trazo negro discontinuo). El color amarillo absorbe parte en la banda espectral verde y transmite algo de azul cuando debería absorberlo todo. El color magenta absorbe bien en la banda verde, pero también lo hace algo en la azul y en la roja aunque menos. El color cian que debería transmitir totalmente en las bandas azul y verde, absorbe parte de estas radiaciones.

Tintes

El color de la capa o filtro es obtenido por medio de agentes colorantes, como son los tintes y pigmentos. Los tintes son solubles en el medio en el que se aplican y aparecen transparentes por luz transmitida, ya que el efecto de dispersión de la luz provocado por sus partículas es mínimo; a este respecto señalar que el diámetro de partícula de un tinte -aprox. 0,001 micra- es inferior a la longitud de onda de la luz.

Pigmentos

Los pigmentos no son solubles en el medio que los aglutina sino que forman suspensiones. Algunos pigmentos, conocidos también como lacas, son obtenidos a partir de tintes por precipitación de éstos sobre una base o sustrato insoluble (Gettens y Stout, 1966:112; Kühn, 1986:171, 173; Yule, 1967:188).

La distinción física entre pigmento y tinte se realiza en función del tamaño de partícula; en el caso de los pigmentos es superior a 0,1 micra, mientras que las partículas disueltas de un tinte son inferiores a

0,001 micra. Existen compuestos coloreados cuyos tamaños de partícula no corresponden a los pigmentos ni a los tintes, éstos son conocidos como pigmentos coloidalmente dispersos, y en solución se asemejan más a los tintes que a los pigmentos (Kühn, 1986:171).

*Pigmentos
coloidalmente
dispersos*

De acuerdo al fenómeno de dispersión⁹⁹, el tamaño de partícula limitará, en mayor o menor grado, la dispersión de la luz incidente y, por tanto, su transmisión. Teniendo en cuenta el tamaño de partícula de los tintes, en un principio, podría considerarse que éstos son los más adecuados para lograr una mejor transmisión de la luz y, por consiguiente, para la reproducción del color por mezcla sustractiva. Sin embargo, ciertas características, como son su baja estabilidad frente a los procesos de degradación y su adecuación al sistema de reintegración que se propone, limitan sus posibilidades. Por esta razón, en la investigación desarrollada en esta Memoria, se utilizan pigmentos y, concretamente, pigmentos sintéticos orgánicos de muy fino tamaño de partícula.

*Inconvenientes
de los tintes*

Por lo tanto, partiendo del hecho de que no existen colores base, pigmentos o tintes, plenamente translúcidos, cualquier color puede considerarse que ocupa un lugar entre dos posiciones extremas: plenamente translúcido o plenamente opaco (Küppers, 1992:151). Esta situación supone una dificultad en la obtención del color por mezcla sustractiva ya que al existir un cierto grado de opacidad¹⁰⁰, la transmisión de radiación no será total. Esta deficiencia práctica limita igualmente las posibilidades teóricas planteadas.

*Los pigmentos
siempre tienen
cierta
opacidad*

Otro inconveniente que limita la reproducción del color es la falta de aditividad que los colores base presentan en la superposición de

*Falta de
aditividad*

⁹⁹ Véase cap. II, ap. II.1.1.2.4. *Dispersión*, pág. 84.

¹⁰⁰ La opacidad viene expresada por la relación entre la luz incidente y la luz emergente sobre una superficie.

las capas o filtros de color; por esta razón, la densidad¹⁰¹ total de las capas, o filtros superpuestos, es menor que la suma de sus tres colores base componentes por separado (Burden, 1978:292; Kowalisky, 1978:147; Yule, 1967:216).

Causas

Esta falta de aditividad se debe a una serie de causas (Yule, 1967:220), entre las que cabría destacar: la reflexión superficial de la capa o filtro de color, la reflexión interna producida dentro de la propia capa de color y, por último, una cierta opacidad de los pigmentos utilizados en su elaboración (Fig. II.41).

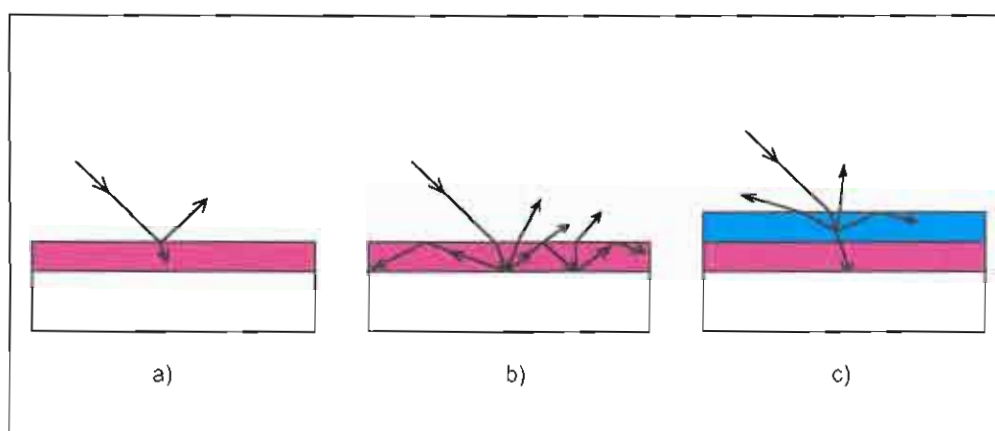


Fig. II.41. La imagen a) muestra una primera reflexión que se produce al incidir la luz sobre la superficie de la capa de color, estimándose que es aproximadamente un 4% de la luz incidente. En b) múltiples reflexiones internas producidas entre la capa de color y el soporte debilitan la luz emergente de la capa de color. En c) se produce una dispersión de la luz en la primera capa de color que debilita la penetración en las capas subyacentes; esto es debido a cierta opacidad de los pigmentos.

Reflexión
superficial

En primer lugar, la *reflexión superficial* de la luz incidente sobre la capa de color, según estima Yule (1967:155), es de aproximadamente un cuatro por ciento. Esto limita la densidad máxima obtenida, ya que

¹⁰¹ La densidad se suele utilizar para indicar la transmisión de las capas o filtros de color (también en blanco y negro). Se deriva de la inversa de la transmisión: densidad = $\log (luz\ incidente/luz\ emergente)$.

parte de la luz incidente no es transmitida a través de la capa de color (Fig. II.41a).

Por otra parte, al estar aplicada la capa de color sobre un soporte blanco (Fig. II.41b), parte de la luz reflejada por el soporte no emerge directamente al exterior, sino que es nuevamente reflejada por la superficie superior de la capa de color, pasa a través del filtro y es dirigida hacia el soporte donde es otra vez reflejada. Esta *reflexión interna* dentro de la capa de color puede repetirse en múltiples ocasiones, hasta que eventualmente la luz emerja o sea absorbida. A partir de este efecto se deduce que la densidad de una capa de color por transmisión no es proporcional a la densidad por reflexión (Yule, 1967:154).

*Reflexión
interna*

La *opacidad*, como tercera causa de la falta de aditividad entre las capas de color, impide la penetración de la luz hacia el soporte o capa de color subyacente (Fig. II.41c). La opacidad se debe a la dispersión de la luz causada por la heterogeneidad en la morfología de los materiales constituyentes de la capa de color (Yule, 1967:154).

Opacidad

Las limitaciones de los colores base empleados en la reproducción del color, son responsables de que las sensaciones cromáticas producidas, no se correspondan exactamente con las sensaciones extremas de percepción mencionadas del sistema visual: azul, verde, rojo, amarillo, magenta, cian, blanco y negro¹⁰²; en realidad serán más o menos aproximadas, dependiendo de la pureza o del grado de contaminación de los colores base utilizados, así como de los fenómenos de reflexión y opacidad que hubiese.

Con lo desarrollado hasta el momento, en relación a la combinación por mezcla sustractiva de los tres colores base, solamente se puede obtener una gama cromática que corresponde a intervalos

¹⁰² Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, pág. 102.

*Reproducción
de una extensa
gama espectral*

limitados del espectro electromagnético^{103,104}. Por lo tanto, la siguiente cuestión será la de reproducir el espectro de forma continua o, en su defecto, de la manera más amplia posible. El objetivo será intercalar un mayor número de colores entre los intervalos marcados por los colores cromáticos obtenidos.

*Variación
cuantitativa de
la absorción
de los colores
base*

La solución radica en poder variar cuantitativamente cada uno de los tres colores base de partida. De esta forma, las absorciones espectrales de cada uno de ellos, pueden estar comprendidas dentro de un abanico de posibilidades, que oscile en un intervalo marcado por los umbrales de máxima y mínima absorción de sus respectivas longitudes de onda; por ejemplo, el color base amarillo puede absorber en distintos grados la radiación azul, desde una absoluta a una nula absorción; de igual modo se puede variar el grado de absorción del color base magenta en relación a la radiación verde, y el grado de absorción del color cian respecto a la radiación roja.

Teniendo en cuenta que el volumen de absorción en cada una de las capas de color, corresponde a la cantidad de color existente (Küppers, 1992:149), a una mayor cantidad de color, mayor será la radiación absorbida que corresponda a dicho color. Por lo tanto, se trata de variar cuantitativamente el color de cada una de las tres capas cromáticas, lo cual a su vez se corresponde con la variación de su saturación¹⁰⁵. Es decir, trabajando con distintos grados de saturación de los tres colores base, se podrán obtener distintos grados de absorción; a este respecto, recordar que en las explicaciones desarrolladas hasta ahora, los colores base a los que se ha hecho referencia eran todos de

¹⁰³ Como ya se mencionase en la pág. 124 al hablar de la mezcla aditiva, el color magenta no tiene representación en el espectro electromagnético al ser el resultado de la mezcla aditiva de las dos luces situadas en los extremos, luces azul y roja.

¹⁰⁴ Hay que señalar que el color blanco y negro no existen en el espectro electromagnético, ya que el mismo espectro se deriva de la luz blanca por medio de la refracción prismática, y el negro u oscuridad es necesario para descomponer la luz blanca en el espectro policromo.

¹⁰⁵ Véase cap. II, ap. II.1.2.1. *Características subjetivas del color*, pág. 105.

máxima saturación. Este cometido de variar la saturación del color se lleva a cabo mediante los denominados puntos de medio tono.

*Puntos de
medio tono*

II.2.2.3.- Función de los puntos de medio tono

En la práctica un determinado color, por ejemplo un gris, se puede reproducir por dos métodos diferentes; así, se puede utilizar un color gris aplicado directamente sobre el soporte, de forma que cubra totalmente su superficie; otro sistema consiste en disponer sobre dicha superficie una serie de puntos de color negro, diminutos y muy próximos entre sí, cuya percepción óptica genere la sensación correspondiente al color gris (Fig. II.42). Esta segunda alternativa se conoce como puntos de medio tono o semitonos (Bann, 1988:36), y constituye la herramienta fundamental que permite reproducir el color en el SIRECRAMT, puesto que hacen posible la obtención de una amplia gama de grados de saturación de los tres colores base sustractivos.

*Variación de
la saturación*

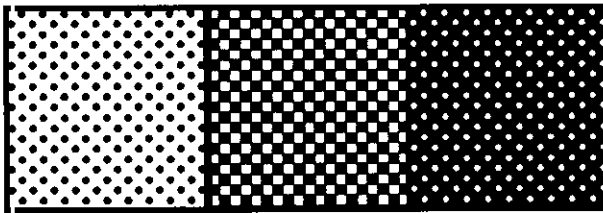


Fig. II.42. Vista ampliada de puntos de medio tono de diversos tamaños. Señalar que para observar en este gráfico distintos tonos de gris a la distancia normal de lectura es necesario entornar los ojos, o bien, proceder a su observación a una distancia de aproximadamente tres metros.

La saturación de un color varía en la medida en que se le añade color acromático blanco, o lo que es lo mismo, en la medida que su

radiación emergente se aproxima al espectro equienergético; lo cual supone una disminución de la saturación del color.

Según el primer método descrito, en relación a la reproducción de un color gris, para disminuir su saturación habría que añadir al color utilizado una cierta cantidad de color blanco; con el segundo método, habría que hacer los puntos de color de un diámetro más pequeño, de forma que una mayor área del soporte blanco quedase sin cubrir. En ambos casos se está incrementando la fracción de radiación blanca emergente o, lo que es lo mismo, disminuyendo la saturación del color que se visualiza.

*Diseño de
puntos*

En la reproducción impresa de imágenes en blanco y negro de tono continuo¹⁰⁶ los tonos intermedios, grises, se reproducen en forma de diseño de puntos. Estos puntos tienen distintos tamaños, si bien en general, son tan pequeños que no se distinguen a simple vista, sino es con la ayuda de una lupa. La vista fusiona los puntos y el cerebro los interpreta como tonos de grises (Albers, 1985:47; Bridgewater y Woods, 1993:8; Kodak, 1978:3; Küppers, 1992:178; Sanders y Bevington, 1986:181).

*Escalas de
saturación:
simuladas y
auténticas*

Tanto el SIRECRAMT como la reproducción del color en la artes gráficas, se basan en el fundamento de crear escalas de saturación de color *simuladas*. Este aspecto hace que ambas técnicas difieran de la fotografía, la cual trata con escalas de saturación del color llamadas *auténticas*; estas últimas obtienen diferencias de saturación mediante la variación de densidades reales (Küppers, 1994:146).

El concepto de diseño de puntos de medio tono se refiere a cualquier repetición sistemática de signos geométricos que cubren parte del soporte blanco reflector de partida (Robinson *et al.*, 1987:187).

¹⁰⁶ Se denomina tono continuo a la estructura óptica de una imagen en la que las variaciones tonales se producen por diferencias de densidad en solución de continuidad, como las que se observan en una fotografía.

Señalar que en el desarrollo de la explicación, estos signos son considerados principalmente como áreas geométricas circulares, equivalentes a un trazado de puntos, si bien otras formas geométricas pueden resultar igualmente válidas:

Ante una situación óptica compleja, como es la percepción de un diseño de puntos, el sistema visual busca la forma de organización más simple y estable dentro de un conjunto compacto y cerrado. Así, las diferencias ópticas generadas por las áreas de puntos de color y las áreas del blanco del soporte sobre el que están dispuestas, tienden a ser agrupadas en un valor medio. Para ello, en la percepción del diseño, los puntos no son considerados como entidades individuales y separadas, sino como partes interrelacionadas de forma que son agrupados psicológicamente dentro de un conjunto¹⁰⁷ (Arnheim, 1994:70; Fraisse y Piaget, 1979:230-231; Granovskaya, Bereznaya y Grigorieva, 1987:44; Kepes, 1976:79; Luna, 1992:370; Schuster y Beisl, 1982:47). En el desarrollo de esta cuestión contribuyen aspectos fisiológicos además de psicológicos. Los receptores estimulados por la imagen óptica no realizan su tarea de forma independiente, sino que entre ellos se establecen conexiones neurales (Arnheim, 1994:57-58).

*Percepción de
un diseños de
puntos*

Agrupamiento

Los puntos que forman parte del diseño pierden su individualidad dentro del conjunto, siempre y cuando no tengan propiedades que, a su vez, destruyan la unidad del mismo (Fraisse y Piaget, 1979:238).

La pérdida de individualidad de los puntos que forman parte del diseño, genera un agrupamiento perceptivo de los mismos; este comportamiento se debe a que presentan ciertas características ópticas comunes, como son: proximidad, continuidad, semejanza de tamaño, forma y dirección (Frisby, 1987:131-134; Granovskaya, Bereznaya y Grigorieva, 1987:44; Kepes, 1976:69; Luna, 1992:370-371; Sanz,

*Características
de agrupamiento*

¹⁰⁷ Para el cumplimiento de este objetivo, es necesario mantener un criterio opuesto a la máxima clásica citada por Lindsay y Norman (1986:37) de "[...] componer una forma gráfica atractiva consiste en proporcionar un punto focal de interés, incluyendo algún tipo de ruptura en una configuración repetitiva".

1996:176). Estas características fueron objeto de estudio por los psicólogos de la Gestalt.

Proximidad

La *proximidad*, favorece el agrupamiento, puesto que cuanto menor es la distancia entre los puntos, menor será la resistencia a su interconexión visual; este efecto es responsable de que los puntos tiendan a ser agrupados dentro del diseño como una totalidad coherente. La proximidad es la condición más simple de organización (Kepes, 1976:70-72).

Continuidad

La *continuidad de los puntos* en una dirección tiende a crear grupos de orden más sencillos así; por ejemplo, una sucesión de puntos en una dirección determinada tienden a ser agrupados y percibidos como una línea recta. La continuidad se produce, igualmente, en la gradación o progresión de las escalas de saturación de los colores, como se verá posteriormente¹⁰⁸ (Kepes, 1976:77).

Semejanza

La *semejanza o igualdad* es otra de las características de organización que favorece el agrupamiento visual, actuando como fuerza de atracción entre los puntos segregados (Arnheim, 1994:96). Esta condición de semejanza está relacionada con la forma, tamaño, dirección o color de los puntos. El agrupamiento de los puntos por semejanza es más estable que el producido por su proximidad (Kepes, 1976:73).

*Características
de los diseños
de puntos*

Por otra parte, el análisis pormenorizado de la estructura de los puntos de medio tono que constituyen un diseño, permite establecer una serie de características que, a su vez, son utilizadas para definir un determinado diseño de puntos. Existe una terminología básica para especificar esas características, cuyo conocimiento es fundamental para la comprensión posterior de los elementos que intervienen en la reproducción del color (Castner y Robinson, 1969:12; Robinson *et al.*,

¹⁰⁸ Véase figura II.50, en cap. II, ap. II.2.2.3.6. *Percepción cromática de un diseño de puntos*, pág. 170.

1987:187). Esta terminología y correspondientes características se explican en los apartados siguientes.

II.2.2.3.1.- Forma de los puntos

La definición de puntos de medio tono podría limitar las posibilidades existentes, en cuanto a las distintas formas geométricas que pueden desempeñar la función de modular la saturación de un color. Un término más amplio, como ya se ha mencionado anteriormente, sería el de signos correspondientes a formas geométricas diferentes, como pueden ser puntos, líneas, círculos, etc. (Fig. II.43). Sin embargo, en este caso se empleará el término de puntos ya que son éstos los signos que han sido utilizados para reproducir el color en el SIRECRAMT.

*Posibilidad de
formas
distintas*

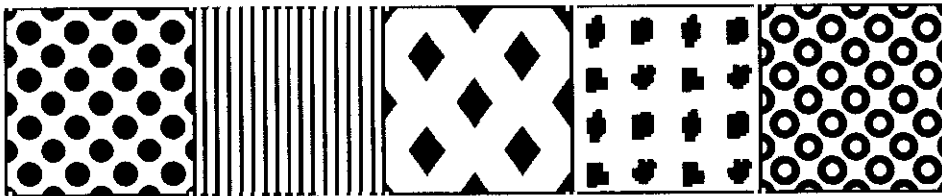


Fig. II.43. Diseños formados a partir de diferentes signos: puntos, líneas, rombos, formas irregulares y círculos.

La forma de los puntos y la distribución del color en su interior debe ser uniforme; estas características se cumplen cuando el punto es circular. Destacar que la existencia de irregularidades afectan a la percepción del área del diseño de puntos. Concretamente, formas irregulares dificultan el agrupamiento visual de los puntos, puesto que la irregularidad es una característica que se opone a la semejanza¹⁰⁹. Así mismo, si se tiene en cuenta que la percepción del color está en función de la cantidad de color depositado sobre el soporte, una variación en la forma de los puntos puede modificar la cantidad del área cubierta de

Uniformidad

¹⁰⁹ Véase *Características de agrupamiento*, págs. 155, 156.

color; por tanto, las irregularidades formales pueden afectar la percepción del tono general del diseño.

II.2.2.3.2.- *Tamaño de los puntos*

*Áreas de
tamaño
variable*

Los puntos que forman el diseño deben ser considerados como áreas concretas y no como signos puntuales inmensurables. Teóricamente, su tamaño se puede considerar como el correspondiente a un círculo perfecto¹¹⁰, definido por su diámetro. No obstante, estos puntos pueden ser distorsionados a lo largo del proceso de reproducción, presentando generalmente una forma circular imperfecta, elíptica, rectangular o fragmentada.

*Factores que
limitan el
tamaño*

Existen tres factores que limitan el tamaño apropiado de los puntos en el proceso de reproducción del color: el espacio entre los puntos, la agudeza visual para discernirlos y la propia capacidad del proceso de reproducción para reproducirlos.

*Máximo
tamaño*

*Variación del
diámetro*

En un diseño de puntos, el tamaño máximo para un espaciado determinado es el que corresponde a una distribución semejante a la de un tablero de ajedrez del cincuenta por ciento. Como muestra la figura II.42, el tamaño de los puntos define el porcentaje de área de color que cubre la superficie del soporte. En un diseño de puntos regular, una disminución del diámetro de los mismos supone una menor área de la superficie cubierta de color, mientras que un mayor diámetro de punto provoca el efecto contrario. El tamaño de los puntos determinará, en parte, la capacidad del ojo para detectarlos individualmente, o bien, mezclarlos visualmente en una sola tonalidad. Por último, la capacidad del sistema de reproducción del color utilizado, puede limitar el tamaño de diámetro mínimo.

¹¹⁰ Observar la excepción de que cuando se trata de un diseño de puntos del un 50% la forma de éstos se corresponde con un cuadrado en lugar de un círculo, como se muestra en la figura II.42, pág. 153.

II.2.2.3.3.- Espaciado entre los puntos

El espaciado entre los puntos de un diseño regular viene definido por su distancia lineal, medida a lo largo de líneas de puntos; esta distancia es la que corresponde a la separación mínima entre los centros de dos puntos más próximos.

En general un diseño de puntos está determinado por su textura, la cual corresponde a su vez, al número de puntos repetidos en una distancia determinada; técnicamente este aspecto se conoce como *lineatura* y se expresa en líneas de puntos por centímetro (l/cm) o líneas por pulgada (l/pulg) (Fig. II.44).

Lineatura

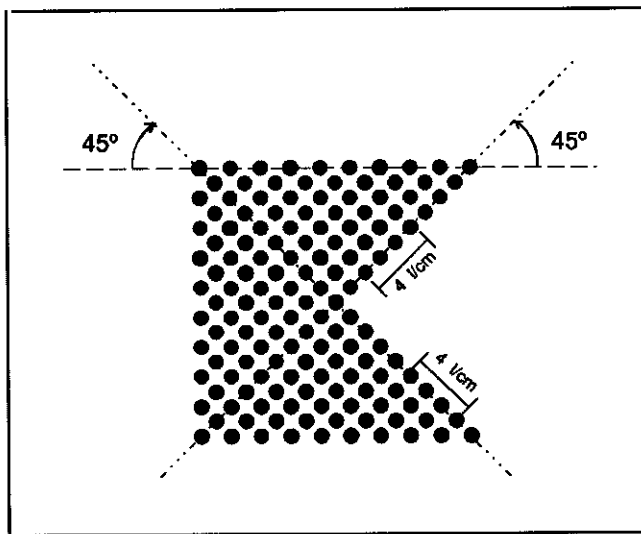


Fig. II.44. La lineatura de un diseño de puntos se mide en aquella dirección en la que los puntos están más próximos. El diseño de puntos del gráfico, presenta un lineatura de 4 l/cm.

La lineatura es simplemente el inverso del espaciado entre los puntos; cuanto más corta sea la distancia del espaciado, mayor será el valor de la lineatura, y viceversa.

Los diseños de puntos cuya estructura es visible, poseen un bajo número de líneas de puntos por centímetro, por ejemplo, 10 ó 20 l/cm, y

*Lineatura
basta*

Lineatura
fina

se dice que tienen una lineatura tosca, basta; por el contrario, un diseño de puntos con un número elevado de líneas por centímetro, por ejemplo, 40 ó 60 l/cm, presenta una lineatura fina, responsable de que no se aprecie la estructura del diseño de punto a simple vista.

Lineatura y
porcentaje de
punto

Al variar la lineatura se varía el número de puntos existentes dentro de un área; esto supone que, si se pretende cubrir un mismo porcentaje de área de color¹¹¹ utilizando distintas lineaturas, habrá que variar el diámetro de los puntos. Como se puede apreciar en la figura II.45, si se emplea un diseño de puntos de lineatura elevada, el diámetro de los puntos será más pequeño que si se recurre a una lineatura baja.

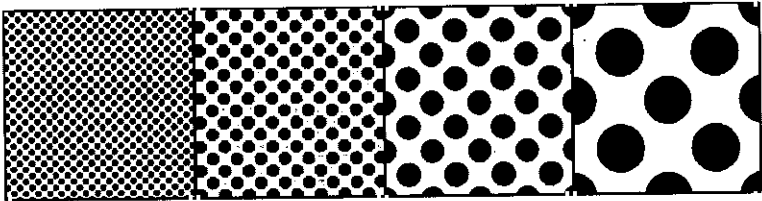


Fig. II.45. Los siguientes cuatro diseños de puntos presentan todos a un 40% de porcentaje de punto, sin embargo la lineatura en cada uno de ellos es distinta. De izquierda a derecha las lineaturas son: 10, 5, 3 y 2 l/cm, respectivamente.

— *Relación lineatura - poder separador del órgano visual*

Umbral de
percepción de
los puntos

Para determinar el umbral de la lineatura de un diseño de puntos a partir de la cual no se aprecie el entramado de puntos individuales, es necesario recurrir de nuevo a la estructuración del órgano visual.

Agudeza visual

La capacidad de resolución del órgano visual para detectar puntos aisladamente viene determinada por su agudeza visual, la cual a

¹¹¹ El porcentaje del área de color que cubre una superficie se expresa como tanto por ciento de punto, así por ejemplo, se puede decir que un diseño de puntos que presente la estructura de un tablero de ajedrez, tiene un porcentaje de punto del 50%.

su vez, está estrechamente relacionada con el diámetro y la distribución de los conos situados en la zona foveal de la retina que, como se recordará, corresponde al área de máxima resolución¹¹² (Castner y Robinson, 1969:17; Granovscaya, Bereznaya y Grigorieva, 1987:47; Kaiser y Boyton, 1996:114). La capacidad de los conos yuxtapuestos en ese área de la retina para separar dos puntos *a* y *b* (Fig. II.46), que constituyen la imagen obtenida a partir de dos puntos A y B situados en la lejanía, corresponde a un ángulo visual aproximado de un minuto sexagesimal^{113,114}. Este valor caracteriza la agudeza visual o poder separador del ojo humano¹¹⁵. La tangente trigonométrica de este ángulo corresponde a la distancia aparente entre los dos puntos.

Ángulo visual

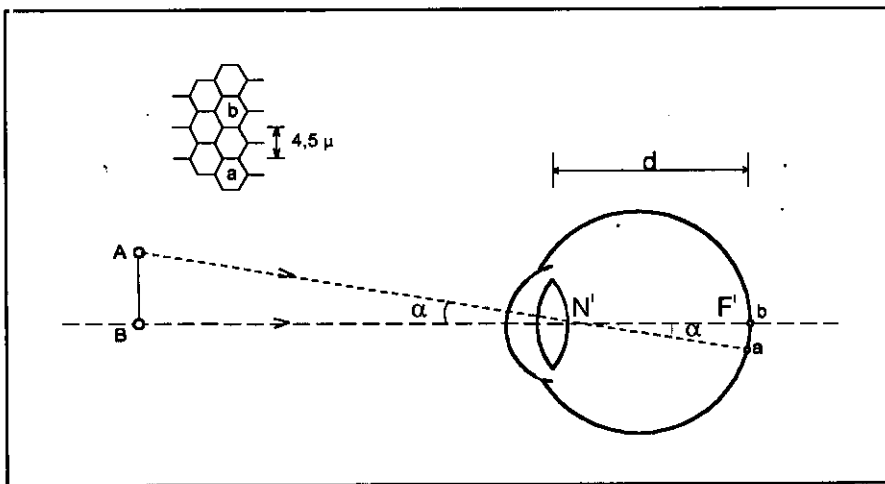


Fig. II.46. Esquema de percepción de dos puntos A y B. Si se considera que la distancia desde el punto nodal posterior del cristalino N' a la retina F' es de 14,767 mm, y el diámetro medio de los conos es de 4,5 μ, el ángulo que determina la agudeza visual de aproximadamente un minuto sexagesimal, viene definido por la inversa de la tangente de la relación entre el diámetro de los conos y la distancia N'F'.

¹¹² Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, pág. 94.

¹¹³ Desde el cristalino, las células de la retina se ven bajo un ángulo de 30 segundos de arco, por lo que sería de esperar un ángulo visual de un minuto para distinguir una separación entre dos puntos luminosos, dejada una célula sin exponer a la luz entre dos expuestas.

¹¹⁴ Se expresa como ángulo aproximado ya que puede variar dependiendo del observador, condiciones de iluminación y forma de los objetos.

El ángulo visual describe el tamaño mínimo de la imagen retiniana, independientemente del tamaño o distancia a la que se encuentre el objeto que la produce. Este ángulo es el que corresponde a las líneas imaginarias trazadas desde el ojo a los bordes exteriores del objeto, que se dice abarca ese ángulo; asimismo, permite establecer el tamaño y la distancia límite, más allá de los cuales los objetos no son percibidos aisladamente (Frisby, 1987:165).

Condicionantes

La agudeza visual varía en los distintos sujetos y además depende de las condiciones de iluminación y forma de los objetos observados; concretamente depende de la luminancia del objeto, de su posición, de su contraste sobre el fondo, y del diámetro de la pupila del ojo.

Así, el poder separador o de resolución del ojo es menor para bajas luminancias, diámetros de pupila muy grandes o muy pequeños y para objetos más lejanos.

*Disminución
de la agudeza
visual en
diseños*

Aunque el ángulo visual corresponde al valor mínimo reconocible de un elemento aislado, cuando existen elementos semejantes adyacentes, como es el caso de un diseño de puntos, la resolución de un único punto dentro del diseño resulta más difícil (Castner y Robinson, 1969:20). El resultado es como si disminuyese la agudeza visual, o lo que es lo mismo, el ángulo visual aumentase.

Considerando la agudeza visual de un minuto sexagesimal, un punto del diseño aislado cuyo diámetro sea de 0,05 mm no será percibido como tal, cuando la distancia de observación sea superior a 170 mm, mientras que si este mismo punto forma parte de un diseño de puntos similares, no será apreciado incluso a una distancia de 90 mm.

¹¹⁵ Ángulo de *agudeza visual* es el mínimo ángulo bajo el cual se puede ver dos puntos separadamente; a la inversa de tal ángulo se le llama *poder separador* o *poder de resolución*.

Ensayos realizados (Blackemore y Campbell, 1969:237-260), en un diseño de un enrejado de líneas de una anchura y separación de 1,27 mm; demuestran que resulta imposible su apreciación individual a una distancia de 2.895 mm; estos datos permiten definir un umbral de agudeza visual para la resolución de elementos gráficos dentro de un diseño. Concretamente, a estos valores de distancia de apreciación y anchura de líneas corresponde un ángulo visual de, aproximadamente, un minuto y treinta segundos sexagesimales. Esto supone una agudeza visual inferior a la necesaria para aislar una línea que no forme parte del enrejado, cuyo ángulo visual se había cifrado en un minuto sexagesimal (Frisby, 1987:109-110).

*Agudeza visual
dentro de un
diseño*

En este sentido, un diseño de puntos que presente una lineatura mayor de 30 l/cm, y sea contemplado a una distancia aproximada de 40 cm, se percibirá normalmente como un único tono de color (Robinson *et al.*, 1987:190), ya que el ángulo visual de un minuto treinta segundos sexagesimales no permitirá discernir la estructura aislada de los puntos.

La disminución de la agudeza visual en un diseño de puntos con respecto a los puntos aislados se debe, en parte, a las características ópticas ya citadas¹¹⁶, que favorecen el agrupamiento de elementos: proximidad, continuidad, semejanza de formas, tamaños, dirección, así, como a efectos de dispersión de la luz.

En base a lo anterior, si para un punto situado en un diseño de puntos, se considera el poder separador de un ángulo visual de un minuto sexagesimal, se estará por debajo del umbral de poderlo discernir. En consecuencia, no serán apreciados los puntos del diseño aisladamente, si no en su totalidad.

En un diseño de puntos de baja lineatura, al ser el diámetro de los mismos mayor (Fig. II.45), resulta fácil percibir el diseño como un

¹¹⁶ Véase cap. II, ap. II.2.2.3. *Función de los puntos de medio tono*, págs. 155, 156.

conjunto de puntos aislados; mientras que en un diseño de elevada lineatura, al ser el diámetro de los puntos menor que el umbral de la agudeza visual, éstos no podrán ser discernidos y el diseño será percibido como un área de un sólo tono, sin estructura visible de puntos.

Percepción de
un diseño de
lineatura
elevada

Se puede presuponer que en el proceso de observación de diseños formados por lineaturas elevadas y, por tanto, con numerosos puntos, se producirá un mayor número de descargas neurales por distancia lineal del movimiento del ojo, y como resultado el ojo recibirá una impresión más continua de color.

En resumen, se puede decir que la forma como es percibido un diseño de puntos, bien como puntos aislados o bien como un tono general, depende, principalmente, de su lineatura.

II.2.2.3.4.- Distribución de los puntos

Organización
de los puntos

Este aspecto se refiere a la organización física o posición relativa de los puntos que definen la estructura del diseño; en un sentido figurado, estas posiciones relativas podría suponerse encuadradas en las intersecciones de figuras geométricas, tales como un cuadrado o un triángulo (Fig. II.47).

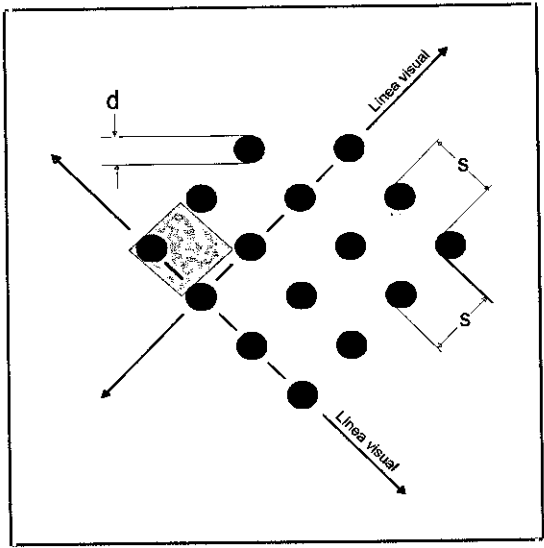


Fig. II.47. Diseño de puntos con distribución cuadrada en el que se aprecian las líneas visuales en posición perpendicular entre sí. Los valores de espaciado (s) y diámetro de los puntos (d) sirven para determinar el porcentaje de color que cubre la superficie (Castner y Robinson, 1969:21).

La proximidad, semejanza y continuidad de los puntos de un diseño dan como resultado su organización en unas líneas visuales directrices, a lo largo de las cuales se ve inducido el movimiento del ojo.

*Líneas visuales
directrices*

Si se considera la distribución de los puntos dentro de un cuadrado imaginario (Fig. II.47), las líneas visuales se situarían en dos direcciones ortogonales y cada punto del diseño equidistante de los cuatro puntos más cercanos (Castner y Robinson, 1969:20-21).

Para una distribución de este tipo, la expresión matemática del porcentaje del área de color se determina a partir del área de un punto (Ec. II.7) y el área cuadrada máxima (Ec. II.8).

*Porcentaje del
área de color*

$$\text{Área de un punto} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Área cuadrada máxima} = S^2 \quad (\text{II.8})$$

Según esto, el porcentaje del área de color se expresaría como:

$$\text{Porcentaje del área de color} = \frac{\pi d^2}{4S^2} \quad \text{o bien,} \quad \frac{0,7854 d^2}{S^2} \quad (\text{II.9})$$

II.2.2.3.5.- Orientación de los puntos

La orientación de un diseño de puntos está referida a la posición de las líneas visuales, anteriormente definidas, en relación a una línea horizontal de referencia.

*Ángulación de
las línea
visuales*

Diferente
percepción
según la
angulación

La variación del ángulo de orientación en un diseño de puntos no debería repercutir en el valor de la percepción, si ésta es considerada como una respuesta al área relativa de color; sin embargo, parece tener el efecto de aumentar el contraste percibido en diseños de puntos de elevada lineatura (Castner y Robinson, 1969:22, 28; Robinson *et al.*, 1987:190). Según sugieren Castner y Robinson (1969:24-25), este efecto puede estar relacionado con el movimiento del ojo, según pueda moverse en direcciones preferentes respecto a las líneas visuales del campo de visión (Fig. II.48).

Ángulos de
máxima y
mínima
apreciación:

Pruebas realizadas de agudeza visual sobre un test de líneas paralelas, muestran una apreciación más baja de las mismas cuando están situadas en ángulos oblicuos, principalmente de 45° y 135°, y una apreciación máxima a 0° y 90° (Frisby, 1987:104-105).

Si se considera que el movimiento del ojo es preferentemente en horizontal (0°) y vertical (90°), cuando las líneas visuales de puntos estén organizadas visualmente en estas direcciones, resultará más fácil su percepción. La variación entre estas orientaciones, 0°-45°y 45°-90°, produce una transición intermedia entre ambos extremos de percepción.

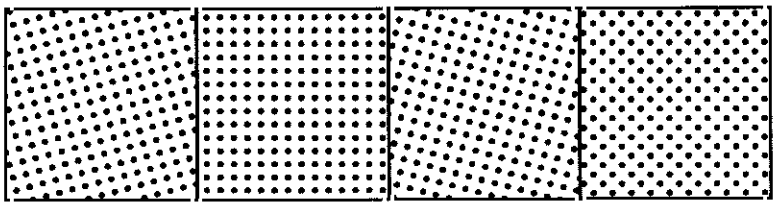


Fig. II.48. Efectos de percepción producidos por los cambios de orientación de los diseños de puntos. De izquierda a derecha poseen una angulación de: 15°, 90°, 75° y 45°. Los cuatro diseños de puntos tienen la misma lineatura y porcentaje de punto. En el último diseño, correspondiente a 45°, es donde menos se aprecian las líneas visuales generadas por los puntos.

Sin embargo, este efecto visual, no puede ser determinado ni por el porcentaje de punto, ni tan siquiera a través de la medición realizada con un densitómetro, ya que éste no posee el aspecto clave del movimiento del ojo (Castner y Robinson, 1969:28).

II.2.2.3.6.- Percepción cromática de un diseño de puntos

Los parámetros que definen un diseño de puntos (tamaño, forma, espaciado, distribución y orientación), producen en su conjunto una impresión visual que, básicamente, es el resultado de su integración mental; concretamente de la cantidad de color depositada sobre el soporte y la forma en que los puntos está distribuida (Fig. II.49).

*Impresión
visual*

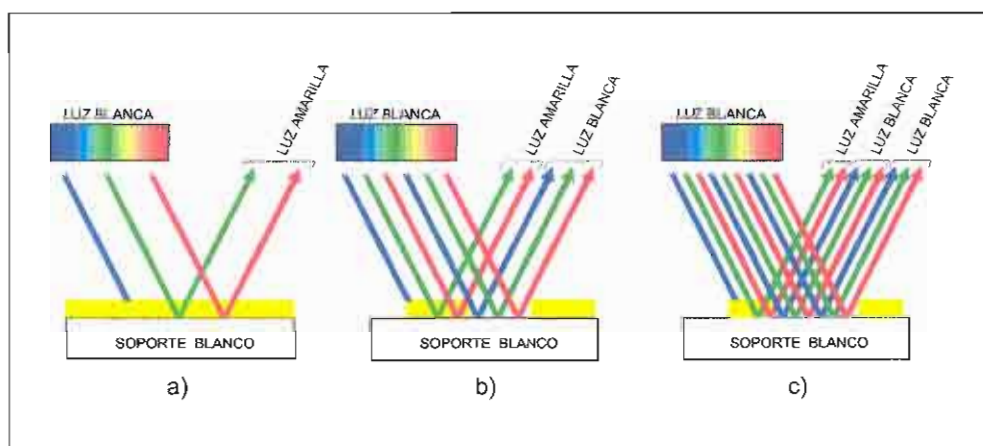


Fig. II.49. En las tres partes *a*, *b* y *c*, de que consta el gráfico, se muestra cómo los puntos de color amarillo cubren de forma distinta el soporte, concretamente en porcentajes de 100%, 60% y 40% respectivamente. La mezcla aditiva de las radiaciones reflejadas produce la sensación de diferentes grados de saturación del color amarillo, siendo máxima en la imagen *a* (100%), y disminuyendo en *b* (60%) y en *c* (40%).

Según sea la lineatura del diseño de puntos, se percibirá una sensación de color del conjunto (diseño de lineatura elevada), o bien, se verá puntos de color y los espacios entre los mismos (diseño de baja lineatura). En el SIRECRAMT, se parte de diseños de puntos cuya

*Percepción de
un tono
general*

lineatura es lo suficientemente alta como para percibir un tono general a la distancia normal de observación de la obra donde son aplicados.

Para analizar la sensación visual originada por un diseño de puntos es necesario conocer la cantidad de color aplicado sobre la superficie, así como el tono generado por todo su conjunto; es decir, el color que realmente existe y el que visualmente es percibido (Castner y Robinson, 1969:25).

*Medición por
escala*

Como se ha mencionado, las sensaciones son definidas en función de los estímulos luminosos que las generan; así, la sensación del tono generado por el conjunto de puntos de un diseño, se define a partir de la medición del área del conjunto de puntos de color; con esta finalidad a este área se le asignan unos valores identificables con la respuesta cromática percibida. Concretamente, se pretende realizar una medición mediante una escala de la impresión visual cromática, expresada en términos de porcentaje de área de color.

Si se considera que el porcentaje de la luz absorbida por el color es aproximadamente proporcional al porcentaje del área cubierta por los puntos, tendremos que si éstos cubren un 40% del área del soporte, el color absorberá un 40% de la luz que, por su color, le corresponde; así por ejemplo, un diseño de puntos de un 40% de puntos de color magenta, absorberá un 40% de la radiación espectral verde, o lo que es lo mismo, del 100% de reflectancia de las tres radiaciones -roja, verde y azul- del soporte blanco sobre el que están los puntos de color magenta, éstos restarán un 40% de la luz verde, por lo tanto al observador llegará un 100% de la radiación roja y azul, y un 60% de la verde (Fig. II.49). En consecuencia, cuanto mayores sean los puntos y más próximos estén, mayor será la saturación del color del área de la imagen.

*Medida del
área de color*

Directa

El área real de color existente en un diseño de puntos puede ser calculada directa o indirectamente. En el primer caso, se miden las dimensiones que conforman el diseño de una determinada muestra de

puntos y se calcula el porcentaje del área de color¹¹⁷; este porcentaje expresa la relación entre el área cubierta de color dentro del diseño y el área total del mismo.

La medición indirecta se realiza mediante un densitómetro. Este instrumento analiza la proporción entre la cantidad de luz incidente sobre el diseño de puntos y la cantidad de luz reflejada por el mismo (Arnold, Rolls y Stewart, 1974:49-50; Kodak, 1978:42-44). La densitometría proporciona una medida relativa del tamaño del punto en comparación con otras áreas de puntos.

Indirecta

Las series de diseños de distintos porcentajes de puntos de cada uno de los colores base, se pueden representar a partir de escalas lineales o unidimensionales, que muestran los distintos grados de saturación que pueden obtenerse (Grandis, 1985:43). Los intervalos de medida de estas escalas pueden estar cifrados en diferentes porcentajes de punto; normalmente, los incrementos son del orden del diez por ciento de punto (Fig. II.50), con los que se obtienen escalas de transición suaves y discernibles por el sistema visual. Las escalas con incrementos inferiores proporcionan transiciones todavía más suaves, si bien, a efectos prácticos el incremento estará limitado por la capacidad del sistema para poder reproducirlo, así como por la textura de la superficie sobre la que se va a reproducir.

Escalas de saturación

Las escalas están comprendidas entre un 0% y un 100% de porcentaje de punto, lo que supone que con incrementos del 10%, se obtienen escalas de once pasos (Fig. II.50). Hay que señalar, que la utilización de porcentajes de punto del 100%, podría interferir con los criterios de reintegración¹¹⁸ en cuanto a su discernimiento, ya que en el porcentaje de punto del 100% no existe la estructura de puntos que

¹¹⁷ Véase Ec. II.9, en cap. II, ap. II.2.2.3.4. *Distribución de los puntos*, pág. 165.

¹¹⁸ Véase cap. I, ap. I.3. *Exigencias técnicas*, págs. 53, 54.

puedan identificar la reintegración. Por esta razón, se utilizan escalas con porcentajes de punto inferiores al 100%.

*Escalas
monocromá-
ticas de
saturación*

De esta forma, a partir del porcentaje de punto de color, se puede establecer la relación entre las variaciones unidimensionales de saturación y el correspondiente estímulo generado. Estas variaciones son representadas por escalas monocromáticas de saturación de cada uno de los tres colores base (Fig. II.50).

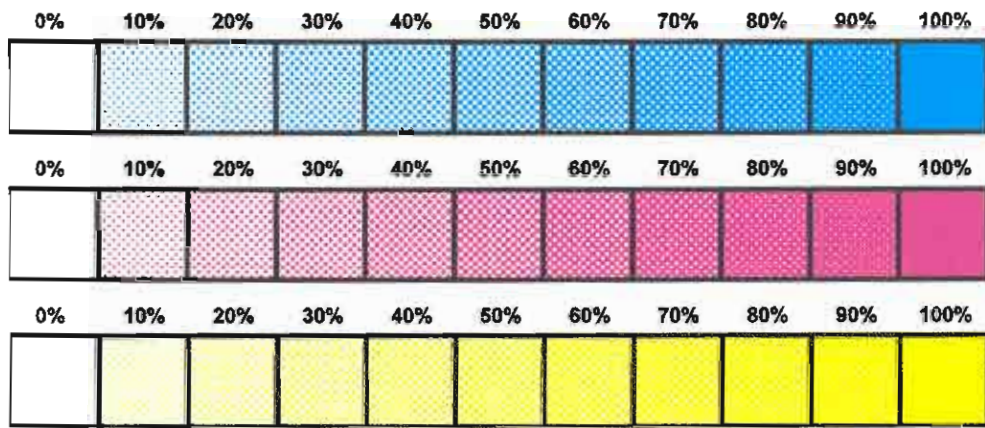


Fig. II.50. Representación lineal o unidimensional correspondiente a escalas o grados de saturación de cada uno de los tres colores base: amarillo, magenta y cian. Cada escala es cifrada en intervalos del 10% de porcentaje de punto.

En resumen, se ha mostrado la forma en que los puntos de medios tonos, permiten obtener diferentes escalas de gradación de saturación para cada uno de los tres colores base. Asimismo, en un apartado anterior¹¹⁹ se ha visto cómo la combinación de las tres capas de colores base superpuestas sobre un soporte blanco, absorben selectivamente la radiación de luz incidente, y producen las sensaciones correspondientes a los seis colores cromáticos y los dos acromáticos.

¹¹⁹ Véase cap. II, ap. II.2.2.2. *Función de los pigmentos*, pág. 143.

Destacar que en esta operación, las capas de color eran consideradas en su máxima saturación, es decir, expresadas en función del área de color cubierta, corresponderían a un área de un porcentaje de punto del 100%.

Si se considera que la combinación de las capas de cada uno de los tres colores base que se superponen corresponden a diferentes porcentajes de área de puntos de color, es fácil deducir que se obtendrá una amplia gama de colores. Sin embargo, como etapa previa, es necesario establecer una serie de consideraciones técnicas referidas a la forma de superposición de los diseños de puntos de color.

Posibilidad de múltiples combinaciones de color

Superposición de los diseños de puntos

Supongamos un diseño de un determinado porcentaje de punto de un color base y con una cierta angulación, por ejemplo, un porcentaje de punto del 30% de color amarillo y con una inclinación de 45°; si sobre el mismo se colocase superpuesto otro diseño de puntos de igual lineatura, con igual o distinto porcentaje y con la misma angulación, por ejemplo, un porcentaje de punto del 40% del color base magenta y con una inclinación de 45°, los puntos de ambos diseños estarían superpuestos. Este efecto no es satisfactorio para la reproducción del color, pues de esta forma el color producido dependería de que los puntos estuviesen superpuestos unos sobre otros en perfecto registro, lo que supondría que el color producido resultante fuese extremadamente sensible a las mínimas variaciones de registro, ya que como se ha indicado al tratar el tema de la falta de aditividad¹²⁰, los puntos de color superpuestos absorben menos luz que la correspondiente a la suma de las absorciones de los puntos individuales (Yule, 1967:335).

Los diseños deben tener diferentes angulaciones

A partir de este momento y a lo largo de la explicación, en las referencias que se realicen respecto a la superposición de varios diseños de puntos de color, se partirá de la condición de que todos tienen la misma lineatura.

¹²⁰ Véase cap. II, ap. II.2.2.2. *Función de los pigmentos*, págs. 149, 150.

Cada color
base una
inclinación

Al objeto de realizar una distribución de los diseños de puntos, de forma que no coincidan los puntos cuando son superpuestos los tres colores base o lo hagan lo menos posible, a cada color se le asignará una inclinación determinada. De este modo, los puntos estarán distribuidos de forma que tiendan a cubrir el soporte y no a superponerse; situándose adosados unos a otros. Se entiende que la disposición de los puntos, sin que se produzca cierta superposición, estará limitada por el umbral del porcentaje de punto; así, por ejemplo, en dos diseños de punto superpuestos, cada uno de ellos con un porcentaje de punto del 60 y 70%, necesariamente tendrán que superponerse parcialmente los puntos.

Muaré

La variación del ángulo de inclinación de los diseños de puntos de color de igual lineatura no se hace de una manera aleatoria ya que, si así fuese, como resultado de la superposición de los diseños, podrían aparecer unas formas geométricas repetitivas (Fig. II.51), conocidas con el nombre de *muaré*¹²¹ (Bridgewater y Woods, 1993:118; Yule, 1967:330).

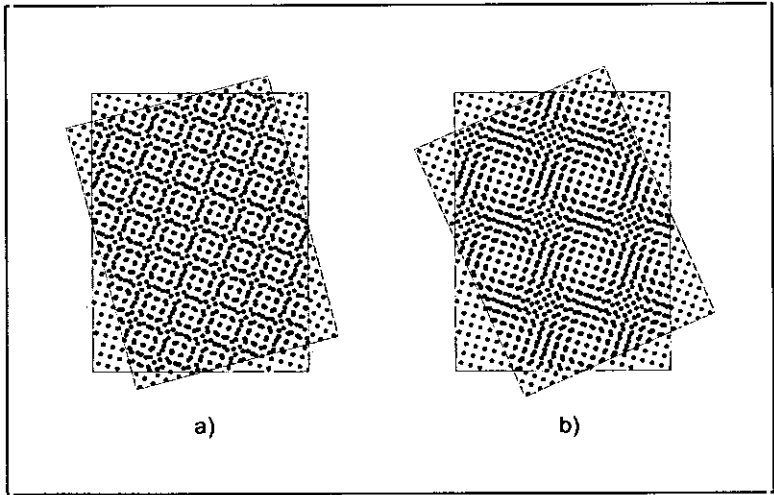


Fig. II.51. Muaré producido por la superposición de dos diseños de puntos con una misma lineatura y una inclinación aleatoria. Este efecto es más acusado cuanto mayor sea la intensidad de los colores de los puntos; así, en los puntos en negro es más acusado que en los puntos de color.

¹²¹ El término *muaré* deriva de la palabra en francés *moiré*.

Partiendo de la superposición de dos diseños de puntos con fondos transparentes, si sobre ésta se varían sus respectivas inclinaciones, se apreciarán constantes cambios en el diseño de muaré, tal y como se pone de manifiesto en la figura II.51a y II.51b. Los diseños de muaré guardan una relación matemática que se utiliza en la resolución gráfica de ecuaciones; en el caso que se describe en relación a un ángulo (Stong, 1964:134).

El muaré perturba la percepción del diseño de puntos como un solo tono general; las formas geométricas que aparecen surgen como elementos aislados fácilmente perceptibles, que atraen la atención del observador.

*Aspecto
negativo del
muaré*

Los estudios realizados para la reproducción del color por tricromía sugieren que, para evitar el efecto de muaré, los ángulos empleados en cada uno de los diseños de puntos de los colores base, debe tener una diferencia de 30° (Burden, 1978:328; Langford, 1972:432; Robinson *et al.*, 1987:190; UNE 54-022-81; Yule, 1967:336).

Como se ha podido comprobar al tratar de la agudeza visual, el órgano visual muestra la menor apreciación visual para ángulos oblicuos¹²², concretamente de 45°, partiendo de esta situación, éste ángulo será el que se utilice para el diseño de puntos del color más intenso, en este caso para el color cian (Burden, 1978:328; Yule, 1967:329-330). Los otros dos colores base, amarillo y magenta, estarán a un ángulo de 30° respecto al de 45°; es decir, al color magenta le corresponderá un ángulo de 15° y al color amarillo un ángulo de 75°, o viceversa (Fig. II.52).

Inclinaciones

¹²² Véase cap. II, ap. II.2.2.3.5. *Orientación de los puntos*, pág. 166.

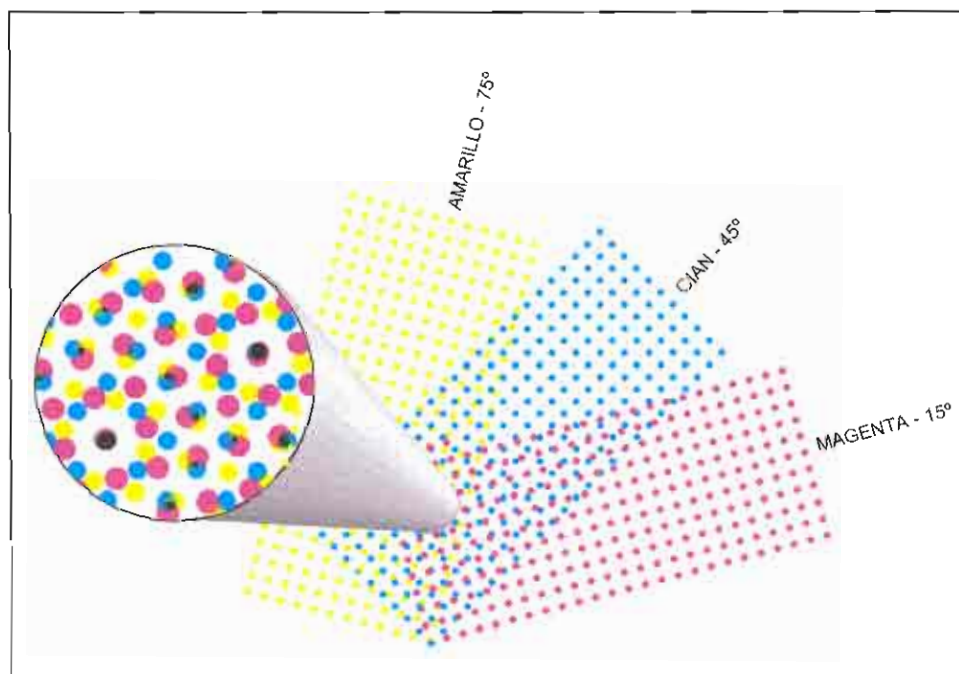


Fig. II.52. Inclinaciones correspondientes a cada uno de los tres colores base: cian, 45°; amarillo, 75° y magenta, 15°. En el área circular ampliada se pueden observar más detalladamente las inclinaciones mencionadas correspondiente a las líneas visuales que unen los puntos más próximos de un mismo color.

Rosetas

La distribución de los puntos de los tres colores base superpuestos, con las inclinaciones descritas, constituyen unas formas geométricas denominadas *rosetas* (Fig. II.53). En algunas zonas, las rosetas de puntos están formadas alrededor de un punto central, compuesto de la superposición de los tres puntos de color. En otras, están formadas por dobles anillos de puntos con ausencia de puntos en el centro (Fig. II.53). Entre estos dos extremos se forman distintos diseños irregulares de puntos (Yule, 1967:339).

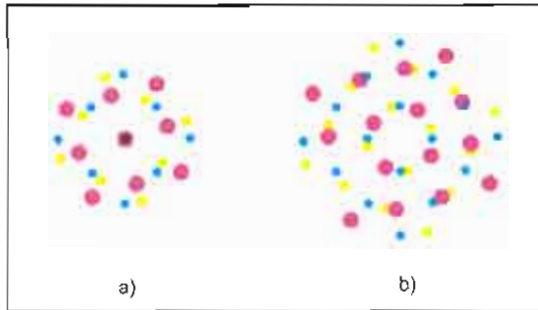


Fig. II.53. Distintos tipos de rosetas: a) roseta formada con registro de puntos en el centro; b) roseta de dobles anillos de puntos.

La simetría de los puntos dentro de un diseño hace que la superposición de varios diseños de color generen doce rosetas, distribuidas en círculo alrededor de la primera roseta, concretamente una por cada 30° (Yule, 1967:341). Así, según se muestra en la figura II.54, respecto a la roseta A, se forman a su alrededor en el primer cuadrante de 90° , tres rosetas B, C y D, luego en 360° serán doce las rosetas generadas respecto a la roseta inicial A.

*Distribución
de las rosetas*

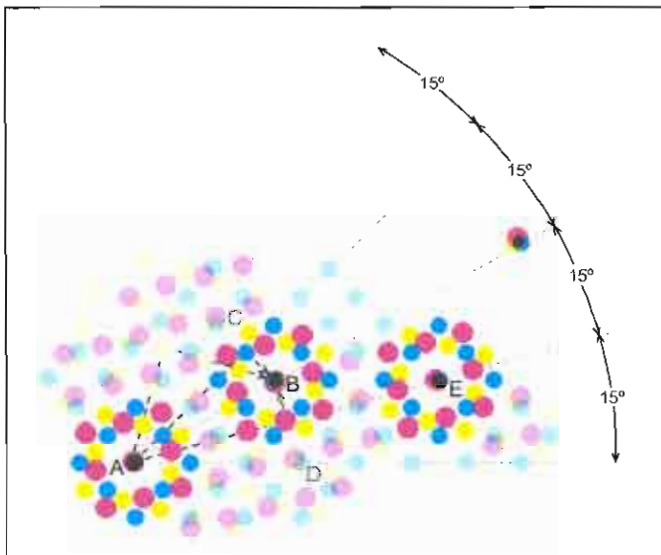


Fig. II.54. Distribución de las rosetas de puntos obtenida por la superposición de los tres colores base con sus respectivas inclinaciones: amarillo 75° , magenta 15° y cian 45° . Se observa cómo las rosetas se generan alrededor de una inicial (A) cada 30° , produciéndose un número total de doce, tres por cada cuadrante de 90° (B, C y D). No existe una repetición exactamente igual de la roseta de los puntos a lo largo de todo el diseño.

En teoría, no es posible que se repita un registro exacto de estas rosetas ya que las tangentes de los ángulos de los diseños de puntos y la relación de distancias entre los puntos son números irracionales¹²³ (Yule, 1967:341). Sin embargo, la apreciación visual de estas diferencias no se encuentran dentro de la agudeza visual.

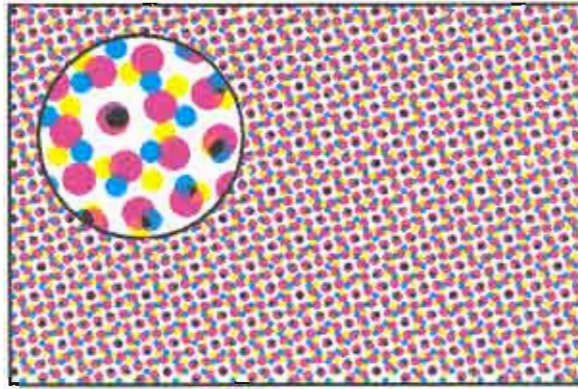
Asimismo, pequeñas variaciones en los ángulos especificados para cada uno de los tres colores base, hacen que la disposición de los puntos pueda variar en su superposición; por la misma razón que en el caso anterior, estas variaciones no se corresponden con diferencias cromáticas apreciables (Yule, 1967:341).

*Mosaico de
colores*

En la superposición de diseños de puntos de cada uno de los tres colores base se forma un mosaico de áreas de color, correspondientes a los seis colores cromáticos: amarillo, magenta, cian, rojo, verde y azul, y los dos colores acromáticos: negro y blanco. En función de que las áreas del soporte no sean cubiertas por los puntos de color, se percibirá el color blanco del mismo; cuando coincidan los tres puntos superpuestos -amarillo, magenta y cian-, se verá el color negro; rojo, donde los puntos de color amarillo y magenta se superpongan; verde, donde los puntos de color amarillo y cian estén superpuestos; azul, donde se superpongan los puntos de color magenta y cian, y donde se sitúen los puntos aisladamente amarillo, magenta y cian (Fig. II.55).

¹²³ Siguiendo la figura II.54, un registro exacto de los tres puntos de color amarillo, magenta y cian, tiene lugar en la roseta con punto central A. En la próxima roseta B, los tres puntos ya no están en un registro exacto; se sitúa en un ángulo de 15° respecto al diseño de puntos magenta y cian, y a 45° respecto al tercer diseño de color amarillo. Su centro aproximado B, puede ser determinado desde la primera roseta A por cuatro puntos en la línea visual de 15° , correspondiente al color magenta, y un punto perpendicular a esta dirección. La tangente del ángulo subtendido por estos puntos están en la relación $\frac{1}{4}$, y corresponde a un ángulo de $14^\circ 2'$, y la distancia entre los centros de las rosetas A y B es $\sqrt{4^2 + 1^2}$. Una misma deducción puede seguirse para situar el punto de color cian. La distancia entre los puntos es la misma, y el ángulo será $30^\circ - (14^\circ 2') = 15^\circ 58'$. Así, los puntos de los diseños magenta y cian no están exactamente en registro en el centro de la roseta B, ya que existe una diferencia de ángulo de cerca de 2° ($14^\circ 2'$ y $15^\circ 58'$). El tercer diseño, color amarillo, los puntos se distribuyen exactamente sobre la línea de 30° y a una distancia de $\sqrt{3^2 + 3^2}$. Por lo tanto, en B se forma el centro de una roseta asimétrica respecto a la primera A. La posición de la roseta B respecto a la primera A, puede representarse por cada uno de los tres colores amarillo, magenta y cian de la forma siguiente (3,3; 4,1; 4,1).

Fig. II.55. La imagen muestra la superposición de los tres colores base de distintos porcentajes de punto, con una lineatura de 6 l/cm y con sus respectivas inclinaciones, amarillo 75°, magenta 15° y cian 45°. El área circular presenta una ampliación de la imagen donde se aprecian los ocho colores posibles resultantes de la superposición.

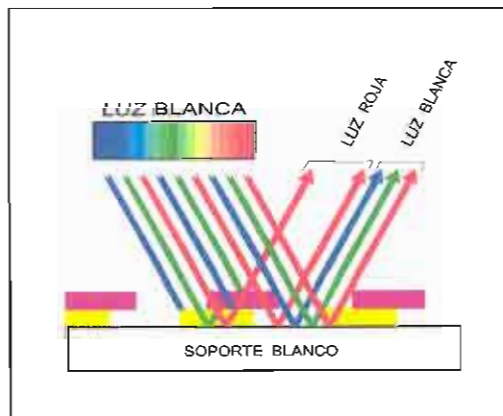


En el mosaico de los ocho colores posibles existe una mezcla sustractiva en las áreas en las que los puntos están superpuestos total o parcialmente. La mezcla óptica del conjunto de los puntos de color aislados, del blanco del soporte que permanece sin cubrir y del color resultante de la mezcla sustractiva de los puntos de color superpuestos, permite obtener la sensación del color global correspondiente (Fig. II.56).

*Mezcla
sustractiva*

Mezcla óptica

Fig. II.56. La superposición de dos colores con sus correspondientes porcentajes de punto provocan una absorción selectiva de la radiación incidente, siendo la luz remitida la que es apreciada por mezcla aditiva; en el caso de la figura, de las radiaciones roja y blanca remitidas. El resultado de la mezcla óptica visual correspondería a un color rojo con cierto grado de saturación, ya que el rojo en su máxima saturación sería cuando el porcentaje de punto de los colores amarillo y magenta fuesen del 100% y por lo tanto cubriesen la totalidad del soporte.



Los valores cromáticos surgen cuando la absorción de la luz incidente, radiación azul, verde y roja, no es absorbida en la misma proporción por las tres capas de color. Así, la luz remitida estará

constituida por distintas proporciones de radiación azul, verde y roja, en relación directa con el tamaño de punto de cada uno de los colores base.

Por lo tanto, se deduce que siempre habrá valores cromáticos cuando, por un lado, existan una o dos capas de color, indistintamente del porcentaje de punto, y por otro, existan las tres capas de color siempre con distintos porcentajes de punto.

Valores
acromáticos

Por otra parte, los valores acromáticos, como muestra la figura II.57, surgen cuando de la luz incidente, la radiación azul, verde y roja, son absorbidas en la misma proporción por las tres capas de color; esta situación se alcanza, teóricamente¹²⁴, cuando existen iguales porcentajes de punto en las tres capas. La luz remitida tras la absorción por las tres capas de color, junto con la remitida por el espacio blanco del soporte que continúe activo, dan lugar a los valores acromáticos (Küppers, 1994:145).

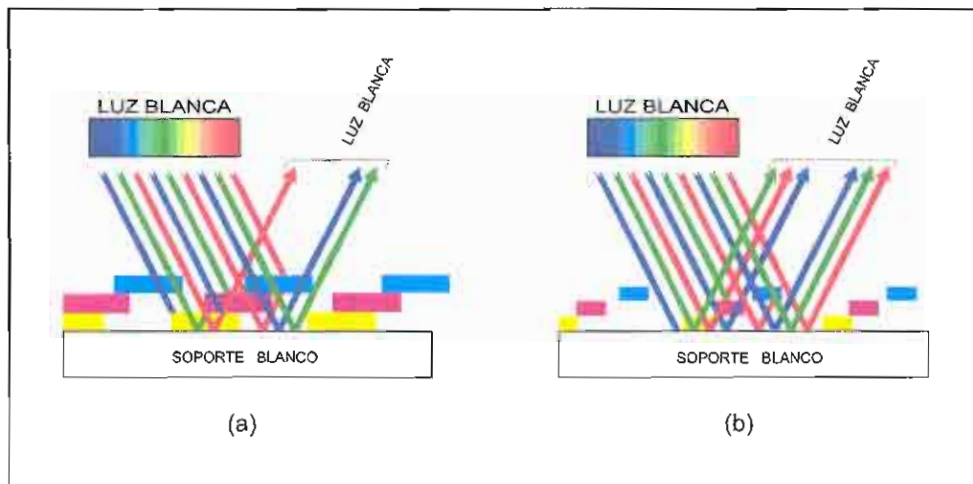


Fig. II.57. En la medida en que los puntos de los tres colores base absorban selectivamente por igual la misma cantidad de la luz incidente, radiaciones roja, verde y azul, se podrá obtener una escala de saturación del color acromático negro. En la imagen *a* el observador tendría la sensación de ver un color más gris que en la imagen *b* ya que esta última refleja más cantidad de luz blanca.

De acuerdo con Küppers (1994:125), los valores acromático y cromático son dos magnitudes recíprocas que juntas conducen siempre a la cantidad matemática del 100%. Cuanto menor es el valor acromático, tanto mayor es el valor cromático y viceversa.

Las combinaciones de los tres colores base en distintos porcentajes de punto permiten variar cada una de las áreas de los ocho colores descritos: cian, amarillo, magenta, rojo, verde, azul, negro y blanco, lo que posibilita técnicamente poder reproducir una amplia gama de colores (Küppers, 1994:16).

Combinaciones de diferentes porcentajes de punto

II.2.2.3.7.- Fondos Tramados Transferibles (FTT)

La siguiente cuestión que surge es cómo obtener materialmente los diferentes diseños de puntos de cada uno de los colores base y cómo situarlos sobre el soporte; todo ello, partiendo de la consideración de que el soporte corresponde al área a reintegrar de la obra de arte, y más concretamente al área de las lagunas estucadas.

Cómo materializar la teoría

La idea básica general es poder disponer de láminas de diferentes porcentajes de punto de cada uno de los tres colores base; las características de estas láminas deben ser tales que permitan su transferencia sobre el área a reintegrar.

Estas láminas de diferentes porcentajes de punto fácilmente transferibles, se denominaran fondos tramados transferibles (FTT).

FTT

Básicamente un FTT consta de un soporte y de una imagen formada por los puntos de color descritos. Los FTT pueden obtenerse

Métodos de obtención

¹²⁴ Se dice teóricamente ya que este comportamiento tendría lugar en el supuesto de la utilización de colores base ideales, cuya absorción selectiva de la radiación fuese perfecta.

por diferentes medios, entre los cuales están los siguientes: fotomecánicos, computerizados y serigráficos o por estampación.

Puesto que el objetivo principal de esta investigación es mostrar la viabilidad del SIRECRAMT como sistema de reintegración, únicamente se ha desarrollado de forma íntegra la obtención de FTT por medios fotomecánicos; los otros procedimientos de obtención quedan como líneas a desarrollar en investigaciones posteriores.

*Obtención
por medios
computerizados*

La obtención de los FTT por medios computerizados se basa, fundamentalmente en registrar, mediante periféricos de salida (impresoras, *plotters*) y sobre un soporte transparente temporal, la información correspondiente a los diferentes porcentajes de punto de color. A través de ensayos previos realizados mediante una impresora térmica de agujas¹²⁵, se ha podido obtener FTT de cada uno de los tres colores base y en distintos porcentajes de punto, con incrementos de 10%, si bien la calidad de la imagen está limitada por la resolución de la impresora. La transferencia de los puntos de color de los FTT así obtenidos se realiza por la conjunción de dos factores: presión y temperatura. Concretamente, la utilización de una espátula térmica, aplicada al reverso del FTT, permite la transferencia de los puntos de color de esa área.

Los FTT así obtenidos deben ser modificados en cuanto a la naturaleza de los pigmentos y aglutinantes, a fin de adaptarlos a las exigencias técnicas de la reintegración. Señalar que debido a la falta de posibilidades para proceder a estas modificaciones, la puesta a punto de la metodología de obtención de este tipo de FTT se ha dejado para posteriores investigaciones.

¹²⁵ Los ensayos realizados se han llevado a cabo a través de una impresora de transferencia térmica de color de agujas de 300 dpi de resolución, marca SHINCO CHC-645, manufacturada por Shinko electric Co. Ltd., Tokyo, Japan.

Los FTT también pueden ser obtenidos por medios serigráficos o de estampación. Estos medios corresponden a sistemas de impresión convencionales, que permiten imprimir sobre diferentes tipos de materiales (Caza, 1983:11). Este sistema de impresión hace más factible la posibilidad de poder variar los elementos que intervienen en el proceso: pigmentos, aglutinantes, soporte del FTT, etc., permitiendo una mejor adecuación a las exigencias técnicas de reintegración.

*Obtención por
medios
serigráficos*

La obtención de los FTT por medios fotomecánicos se realiza fundamentalmente a partir de emulsiones fotosensibles en contacto con negativos tramados. El procesado adecuado de la emulsión, una vez expuesta a una fuente de luz actínica, permite obtener los FTT cuya imagen de puntos de color puede ser fácilmente transferida. En el capítulo siguiente se recoge un estudio detallado de la naturaleza, propiedades y dosificación de los materiales necesarios para la obtención de las emulsiones y negativos. Asimismo, se describen las etapas a través de las cuales se ha puesto a punto el método de procesado de estos materiales, que ha hecho posible la obtención de los FTT.

*Obtención
por medios
fotomecánicos*

Las posibles combinaciones de los FTT permiten obtener una amplia gama de colores que quedan recogidas en tablas cromáticas, las cuales muestran, a su vez, las posibilidades prácticas reales del sistema. Estas tablas son los patrones de referencia en el proceso de reintegración, que hacen posible el análisis del color a reproducir, y su descomposición en los tres colores base y correspondientes porcentajes de punto (Küppers, 1994:21-119; Rogondino, 1990).

Puede considerarse que tanto los FTT como las tablas cromáticas, constituyen las herramientas, a partir de las cuales es posible reproducir el color por el SIRECRAMT. Destacar que ambos elementos han sido desarrollados de acuerdo a las exigencias técnicas requeridas en todo proceso de reintegración y a las particulares del

sistema que se plantea. Como ya se ha indicado, estos aspectos son tratados en el próximo capítulo.

*Posibilidades
prácticas
reales*

Por último, se puede señalar que en esta investigación se plantean las posibilidades prácticas reales del SIRECRAMT. Esto se debe a que se parte de los colores reales disponibles para la reproducción del color, lo cual supone asumirlos con todas sus imperfecciones, frente a las exigencias teóricas ideales. La representación de la combinación de los colores se hace mediante un sistema organizado puramente cuantitativo, dispuesto en escalas cuantitativas. Así, frente a la teoría ideal del color, el SIRECRAMT representa las posibilidades prácticas existentes para su reproducción por tricromía; si bien para su desarrollo se ha partido de los planteamientos teóricos relacionados con la teoría del color y su reproducción.

III. MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA, OPTIMACIÓN DE LA NATURALEZA DE LOS COMPONENTES, DOSIFICACIÓN Y CONDICIONES DE TRABAJO.

Sumario: III.1.- Características de los Fondos Tramados Transferibles (FTT). III.1.1.- Emulsiones fotosensibles. III.1.1.1.- Composición. III.1.1.1.1.- Coloide. III.1.1.1.2.- Sensibilizador. III.1.1.1.3.- Sustancia colorante. III.1.1.1.4.- Bactericidas. III.1.1.1.5.- Plastificantes. III.1.1.2.- Preparación y aplicación. III.1.2.- Negativos tramados. III.1.3.- Obtención de los FTT. III.1.3.1.- Montaje y exposición. III.1.3.2.- Procesado. III.1.3.2.1.- Revelado. III.1.3.2.2.- Preparación para la transferencia. III.2.- Tablas cromáticas.

III

Material necesario para el desarrollo del sistema. Optimación de la naturaleza de los componentes, dosificación y condiciones de trabajo

Para la aplicación del sistema de reintegración desarrollado en esta investigación, son necesarios los elementos anteriormente citados: los FTT y las tablas cromáticas; en el presente capítulo se expone la puesta a punto de la metodología de obtención de los mismos.

A partir de los FTT se obtienen las tablas cromáticas. Los primeros son los portadores de la imagen de puntos de distintos porcentajes de cada uno de los tres colores base; los segundos constituyen la representación gráfica que muestra las posibles combinaciones cromáticas de los FTT elaborados.

FTT

*Tablas
cromáticas*

Según lo anterior, primeramente, será necesario proceder a la obtención de los diferentes FTT y, posteriormente, a partir de éstos elaborar las correspondientes tablas cromáticas.

Obtención de los FTT Como ya se ha mencionado, los FTT pueden obtenerse por diferentes métodos como son serigráficos, computerizados y fotomecánicos¹²⁶, si bien en esta Memoria la forma de obtención que se va a desarrollar es mediante éste último.

La metodología puesta a punto, tanto para la obtención de los FTT como de las tablas cromáticas, debe considerarse como una alternativa susceptible de variaciones. No obstante, el desarrollo alcanzado en la elaboración de estos medios ha permitido demostrar la viabilidad del SIRECRAMT, siendo éste el objetivo principal en el desarrollo de esta investigación.

Laboriosidad de la fase experimental Hay que destacar que la puesta a punto de esta metodología de obtención de los FTT, ha resultado especialmente compleja, y ha supuesto una intensa labor experimental. La bibliografía existente sobre el tema es escasa y obsoleta, no existiendo ningún tipo de antecedente relacionado con este sistema de reintegración; asimismo, hay que añadir la necesaria adaptación de los FTT tanto a las exigencias técnicas generales exigidas por cualquier tipo de reintegración¹²⁷ como a las características particulares del proceso de reintegración que se propone.

Por estas razones, ha sido necesario realizar numerosos ensayos hasta llegar a resultados concluyentes en relación a la naturaleza, dosificación y tratamiento de los FTT.

Quién elabora los FTT Cabe señalar que, dentro del proceso de reintegración de una obra por el SIRECRAMT, la elaboración de los FTT no correspondería a la labor del restaurador. Estos FTT serían preparados por casas comerciales, donde se podrían adquirir para su aplicación. Por el contrario las tablas cromáticas deberán ser elaboradas¹²⁸ por el

¹²⁶ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.7. *Fondos tramados transferibles (FTT)*, págs. 180, 181.

¹²⁷ Véase cap. I, ap. I.3. *Exigencias técnicas*, págs. 53, 54.

¹²⁸ La elaboración de las tablas cromáticas se desarrolla en el cap. III, ap. III.2. *Tablas cromáticas*, pág. 252.

restaurador, a partir de los FTT adquiridos y de acuerdo a sus necesidades; como se podrá comprobar posteriormente, este proceso no entraña ninguna dificultad.

III.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS FONDOS TRAMADOS TRANSFERIBLES (FTT)

Según la definición establecida, los FTT son los elementos portadores de la imagen de puntos de diferentes porcentajes de cada uno de los tres colores base. Esta imagen de puntos esta dispuesta sobre el FTT de forma provisional, ya que el soporte definitivo de la misma será el área de la obra a reintegrar sobre la que será transferida. Es decir, los FTT pueden considerarse como meros soportes temporales de la imagen de puntos.

*FTT: soportes
temporales de
puntos*

En sí mismo, un FTT está constituido por un soporte transparente y flexible, que sustenta los diferentes porcentajes de puntos realizados en cada uno de los tres colores base sustractivos. En la figura III.1, se muestra la imagen correspondiente a una ampliación de un FTT del 70% de porcentaje de punto de color magenta.

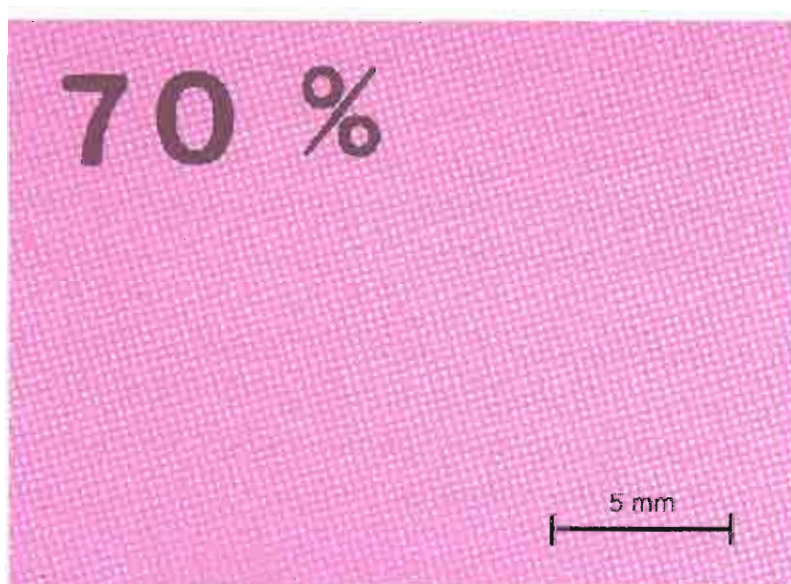


Fig. III.1. Imagen ampliada (x 4,8) de un FTT del 70% de porcentaje de punto correspondiente al color magenta.

Estructura

La estructura estratigráfica de los fondos tramados transferibles consta de dos estratos bien diferenciados: soporte e imagen (Fig. III.2).

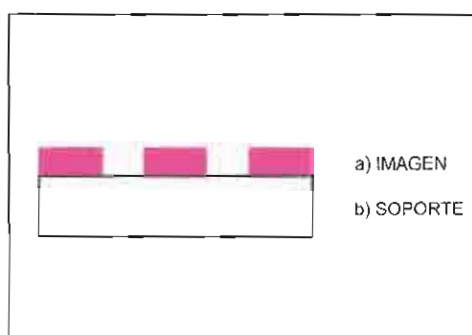


Fig. III.2. Esquema de los estratos: soporte e imagen, de un FTT.

Exigencias técnicas del soporte

La función del soporte es la que se deriva de su propio significado, es decir, la de sustentar la imagen de puntos; debe reunir la siguientes condiciones:

- a) *Estabilidad dimensional.* Durante el proceso operativo desarrollado para la confección de los fondos tramados transferibles, el soporte es sometido a diferentes cambios de temperatura, humedad relativa, acción de productos químicos e iluminación. Estas circunstancias no deben alterar dimensionalmente el soporte, ya que dilataciones o contracciones del mismo podrían ocasionar deformaciones en la imagen que soportan.
- b) *Impermeabilidad y estabilidad química.* No debe presentar carácter higroscópico, ni reaccionar químicamente con los productos de la emulsión fotosensible con la que se recubre para obtener la imagen de puntos.
- c) *Transparencia.* Este aspecto es importante, básicamente, por dos razones. En primer lugar, destacar que la exposición a la

luz de la emulsión fotosensible, se realiza a través del soporte, por lo que la transparencia de éste resulta fundamental para que la luz llegue a la emulsión. Otro aspecto a considerar es que en la operación de transferencia de la imagen al soporte definitivo del área a reintegrar, esta transparencia permite ver la zona de aplicación.

- d) *Flexibilidad.* Su carácter flexible permite, por un lado, una mejor adaptación a la superficie, ciertamente irregular, del área definitiva de aplicación en la laguna a reintegrar y, por otro, hace posible retirar el soporte fácilmente una vez terminada su aplicación.
- e) *Homogeneidad superficial.* Permite una disposición homogénea de la imagen de puntos que sustenta.

El cumplimiento de todas estas condiciones es imprescindible, y su no consideración irá en detrimento del procedimiento operativo.

Teniendo en cuenta estos factores, se ha optado por la utilización de un soporte de poliéster normal con un espesor de 100 μ ; se presenta en láminas de un formato DIN A3, y es comercializado con la marca *abezeta*^{129,130}.

Poliéster

Respecto a la imagen, son varios los factores a destacar. El primer aspecto a considerar sería el procedimiento a seguir para materializar sobre el soporte la imagen de los distintos porcentajes de

Imagen de puntos

¹²⁹ Se han obtenido resultados negativos en pruebas iniciales realizadas con otros tipos de soporte, concretamente, el soporte para transparencias (ref. PP2500), de la marca comercial 3M, así como con el soporte obtenido a partir del procesado de una película fotosensible de alto contraste para blanco y negro, sin haber sido expuesta a la acción de la luz.

¹³⁰ Este tipo de soporte se puede adquirir en tiendas comerciales especializadas, como son las papelerías técnicas.

puntos; este objetivo se consigue mediante la utilización de emulsiones fotosensibles. A este respecto, es necesario determinar qué tipo de emulsión resulta más adecuada para esta finalidad, y que al mismo tiempo se adapte a los criterios de reintegración.

Otra cuestión importante es establecer el sistema por el cual la imagen de puntos, previamente formada sobre el soporte de poliéster, pueda ser transferible al área a reintegrar de forma efectiva mediante una ligera presión.

A estas y otras cuestiones se da respuesta en el desarrollo del apartado III.1.3, que versa sobre la obtención de los FTT. Si bien, antes de tratar este proceso es necesario definir ciertos elementos que intervienen en su elaboración.

*Negativos
tramados y
emulsiones
fotosensibles*

La imagen de puntos se obtiene como resultado de la exposición a la luz de una emulsión fotosensible, que recubre el soporte en contacto con un negativo tramado convencional, y su posterior procesado. Tanto la emulsión fotosensible como los negativos tramados resultan determinantes en la obtención de la imagen de puntos de color de los FTT. En los apartados siguientes se recogen sus componentes, características y método de preparación.

III.1.1.- Emulsiones fotosensibles

Como ya se ha señalado, las emulsiones fotosensibles permiten obtener la imagen de puntos sobre el soporte de poliéster.

Emulsión

Bajo la denominación de emulsión se incluyen aquellas mezclas constituidas por un vehículo líquido en cuyo interior se encuentran perfectamente dispersas las partículas del soluto, de manera que el conjunto es perfectamente estable.

Al igual que sucede con el estrato del soporte que forma parte del FTT, la emulsión fotosensible deberá reunir una serie de condiciones en relación a las cuestiones técnicas generales referidas al proceso de reintegración; estas condiciones son:

*Exigencias
técnicas de la
emulsión*

- a) Conocimiento de su composición química, para poder determinar si existe alguna posibilidad, una vez obtenida la imagen procesada, de que pueda reaccionar con otros compuestos, internos o externos a la misma.
- b) Reversibilidad de la emulsión que forma la imagen de puntos de color, una vez aplicada en el área donde se efectúa la reintegración.
- c) Durabilidad y estabilidad en el tiempo de los materiales utilizados.

*Composición
química*

Reversibilidad

Estabilidad

A estas necesidades relacionadas con el proceso de reintegración, hay que añadir las propias derivadas de su carácter fotosensible; todas estas exigencias deberán ser compatibles, lo cual resulta ciertamente complejo; por esta razón ha sido necesario realizar numerosas modificaciones y ensayos para cumplir tal objetivo.

Las condiciones relacionadas con el carácter fotosensible de la emulsión son las siguientes (Burden, 1978:114-115):

*Exigencias
fotosensibles*

- a) La sensibilidad debe ser tal que haga posibles tiempos de exposición relativamente cortos.
- b) El cambio químico debe ser proporcional a la intensidad y al tiempo de exposición.

- c) La composición química final de las áreas con imagen, debe permitir su fijación provisional sobre el soporte temporal en el que se sustenta.
- d) El proceso fotoquímico debe desarrollarse en el menor número de etapas posible y resistir las manipulaciones del revelado.
- e) Sensibilidad cromática a longitudes de onda corta, dentro del ultravioleta próximo al visible.
- f) Su elaboración y manipulación deben ser fáciles.

*Tipo de
emulsión a
utilizar*

Ante estas exigencias técnicas, surge la cuestión sobre qué tipo de emulsión se adapta a los requisitos planteados.

*Haluros de
plata*

Inconvenientes

La primera opción a considerar es recurrir a las emulsiones más normalizadas y estandarizadas, como son las constituidas por haluros de plata¹³¹. Sin embargo, una aproximación a sus características hace que sean descartadas, entre otras razones debido a que están constituidas por compuestos químicos complejos cuya composición y comportamiento son difíciles de determinar, y por otro lado el uso de compuestos reactivos como son la hidroquinona, bórax, sulfito sódico, hipoclorito sódico y tiosulfato amónico, entre otros. Por regla general, este tipo de emulsiones son productos comercializados, los cuales no aportan en la mayoría de los casos una detallada especificación de su composición química, por lo que no es posible determinar su comportamiento frente a otros elementos que hubiese que adicionar, con el fin de su posible adaptación a los requisitos planteados en relación al proceso de reintegración.

¹³¹ Los haluros de plata, comprenden a los bromuros, cloruros y yoduros de plata.

Otro inconveniente que presentan las emulsiones de haluros de plata es la necesidad de tener que disponer de unos medios ciertamente complejos para su elaboración.

La desconfianza planteada ante la utilización de este tipo emulsiones lo corrobora el hecho de que en la actualidad, en el campo de la restauración de la fotografía, no se alcancen los resultados óptimos deseados, debido a su complejidad y a la falta de conocimientos sobre el comportamiento de los compuestos químicos utilizados, sobre todo en el campo de la fotografía en color. Así pues, si la restauración no se materializa en la fotografía debido a la complejidad de sus componentes, es obvia la precaución a la hora de utilizar éstos como materiales aplicables en el campo de la restauración.

Como solución a lo anterior, en esta investigación se plantea la utilización de una emulsión en cuya composición básicamente intervengan sustancias ya utilizadas en el campo de la restauración.

La emulsión fotosensible que, *a priori*, reúne las exigencias planteadas es la formada a base de coloides de origen animal, vegetal o sintético, a los que se adiciona un sensibilizador (Clerc, 1947:348; Glafkides, 1967:647; Raviola, 1969:204). Estos coloides -colas, gelatinas, albúmina, goma arábiga, alcohol de polivinilo, caseína- pueden considerarse adecuados para efectuar una reintegración en la cual actúen como ligantes del pigmento ya que, de hecho, la mayor parte de ellos han sido utilizados para tal finalidad. Por lo tanto, al emplear un coloide de este tipo no se está aportando al proceso, ningún elemento cuya composición y comportamiento no sean conocidos.

*Emulsiones a
base de
coloides
sensibilizados*

De los coloides mencionados se ha optado por los de origen animal, y concretamente por las gelatinas. Éstas tienen el mismo origen que, por ejemplo, la cola de conejo, cuyo uso está muy extendido en el campo de la restauración. La elección de este tipo de coloide supone una ventaja, ya que permite partir de un compuesto orgánico

Gelatinas

suficientemente experimentado (Horie, 1994:143) y por otra parte, tiene carácter reversible. Así pues, será a partir de la gelatina, como componente básico, de donde se desarrolle la emulsión fotosensible.

*Gelatina
dicromatada*

La gelatina por sí sola no es un compuesto fotosensible; esta propiedad se logra mediante la adición de un sensibilizador, como son las sales de ácido crómico, y la posterior exposición a una luz actínica¹³². El efecto básico de la luz sobre la gelatina dicromatada es aumentar su punto de fusión.

*Antecedentes
de utilización*

Las emulsiones fotosensibles a base de coloides dicromatados fueron desarrolladas a mediados del siglo pasado, y utilizadas hasta aproximadamente la primera mitad de este siglo, en la reproducción fotomecánica dentro del campo de las artes gráficas (Reed, 1966:51-52, 55, 117). Actualmente son empleadas con fines artísticos, en los denominados procesos o procedimientos pigmentarios.

*Resultados
estables y
permanentes*

Este tipo de emulsiones se caracteriza por que permite la obtención de imágenes prácticamente estables y permanentes en cuanto a su conservación se refiere (Cancela y Gago, 1990:18; Clerc, 1975:778; Nadeau, 1986:9; Vallve, 1936:385; Zelich, 1995:67).

*Coloides
dicromatados*

Estas preparaciones fotosensibles deberían llamarse más correctamente coloides dicromatados o coloides fotosensibles pero, según Raviola (1969:205):

[...] en conformidad con la terminología fotográfica que denomina *emulsión* a la dispersión de las sales de plata en la gelatina (coloide), se llaman también emulsiones, aunque este término quiera indicar una solución coloidal con fase dispersa y fase dispersante, ambas líquidas.

¹³² Se entiende por luz actínica aquella que tiene la capacidad de impresionar una emulsión fotosensible, dependiendo a su vez este efecto de su longitud de onda e intensidad.

En las soluciones coloidales o pseudo-soluciones, las partículas de soluto presentan un diámetro superior a 1-100 milimicrones; en realidad constituyen agregados moleculares denominados *micelas* (Raviola, 1969:204-205).

*Soluciones
coloidales*

III.1.1.1.- Composición

Para la preparación de las emulsiones fotosensibles desarrolladas en esta Memoria, se ha partido de algunas sustancias ya conocidas, tradicionalmente empleadas en el campo de la fotografía; la experimentación con todas las sustancias factibles habría supuesto una tarea ambiciosa, fuera de la finalidad de esta investigación.

En este sentido, recordar que el objetivo fundamental de este trabajo es demostrar la viabilidad de este sistema de reintegración, y su aplicación en el campo de la restauración. No obstante, hay que señalar que en futuras investigaciones se podrían introducir variaciones tanto en lo que se refiere a la naturaleza de sus componentes, como en lo que respecta a su dosificación.

Además del coloide y el sensibilizador, componentes esenciales de este tipo de emulsiones fotosensibles (Bargilliat, 1958:303; Raviola, 1969:207), también intervienen sustancias colorantes, plastificantes y bactericidas. La naturaleza, función y dosificación de cada uno de ellos se desarrolla en los siguientes apartados.

Componentes

III.1.1.1.1.- Coloide

Como ya se ha mencionado, los coloides orgánicos que en un principio parecen válidos para ser utilizados en la elaboración de este tipo de emulsiones, pueden tener distinto origen: animal, vegetal o sintético. Son los de origen animal los utilizados en el desarrollo de las emulsiones fotosensibles que se describen, si bien, también se han

*Tipos de
coloides*

Coloides de origen animal

realizado ensayos con coloides sintéticos, preparados a partir de alcoholes de polivinilo¹³³, y con coloides vegetales como la goma arábica. La elección de los coloides de origen animal y no de origen vegetal o sintético surge, además de por su conocimiento en cuanto a su comportamiento en el campo de la restauración, también por los problemas de dosificación, planteados por los otros tipos de coloides - vegetales y sintéticos- en la elaboración de la emulsión. Dentro de los coloides animales existentes, válidos para la elaboración de las emulsiones fotosensibles, se ha optado por las gelatinas.

Gelatinas

Colágeno

Las gelatinas y las colas animales son compuestos similares, obtenidos de las mismas fuentes pero a través de tratamientos diferentes. Ambos son productos derivados del colágeno, componente proteico mayoritario en los mamíferos, que se encuentra en los cartílagos, los tendones y la piel (Brandis, 1990: 123; Kragh y Wootton, 1978:170; Martínez, 1972:42).

Propiedades del colágeno

El colágeno en su estado natural es insoluble en agua y resistente en medio ácido y alcalino. La conversión del colágeno en polipéptido soluble supone la fragmentación de enlaces covalentes y la ruptura de las fuerzas de enlace secundarias físicas, a través del tratamiento térmico en medio ácido o en medio básico (Brandis, 1990:124).

Tipos de gelatina

Las moléculas de gelatina son cadenas polipeptídicas de longitud variable, constituidas por secuencias de aminoácidos. Existen dos tipos de gelatinas, las denominadas de tipo A y las de tipo B. Las primeras son producidas mediante procesos ácidos del material del colágeno, y presentan un punto isoeléctrico¹³⁴ alrededor de pH 9,0; las de tipo B son obtenidas por procesado alcalino y su punto isoeléctrico se encuentra en

¹³³ En los ensayos realizados se ha utilizado Mowiol 4-88, fabricado por Farbwerke Hoechst A.G., 45 Bruningstrasse, Frankfurt am Main, (Republica Federal de Alemania).

¹³⁴ La gelatina es una proteína, y como todas las proteínas tiene carácter anfótero, es decir, es a la vez ácido y base, dependiendo su comportamiento del pH. Se denomina punto isoeléctrico al pH en el cual la proteína posee el mismo número de grupos cargados positiva y negativamente.

torno a pH 4,8 (Brandis, 1990:125; Kragh y Woottom, 1978:174; Nadeau, 1986:49; Rose, 1977:55; Viro, 1980:711).

Debido a su carácter anfótero, las gelatinas pueden reaccionar como cationes o como aniones, dependiendo del pH del medio y de su punto isoelectrico (Brandis, 1990:125; Viro, 1980: 713).

La gelificación de una disolución de gelatina se produce mediante la reorientación intra e intermolecular que tiene lugar durante el enfriamiento del sistema.

Gelificación

La gelatina es utilizada en diversos campos, como es el de alimentación, farmacia e industria de la fotografía, todos los cuales se benefician de sus propiedades únicas, tales como: reversibilidad del estado de gel al estado de sólido de las soluciones acuosas, baja viscosidad de las soluciones acuosas calientes, capacidad de actuar como un coloide protector, permeabilidad al agua e insolubilidad en agua fría, aunque con una completa solubilidad en agua caliente. La rigidez del gel es aproximadamente proporcional al cuadrado de la concentración de gelatina (Kragh y Woottom, 1978:175; Viro, 1980:713).

La cola animal se diferencia de la gelatina en que tiene un menor peso molecular y un inferior grado de purificación. La cola se obtiene por una hidrólisis más completa del colágeno y por ello presenta mayor contenido de fragmentos de cadena de menor peso molecular. La gelatina comercial contiene especies de pesos moleculares comprendidos entre valores del orden de 10.000 hasta por encima de los 250.000 (Brandis, 1990:125; Kragh y Woottom, 1978:173; Viro, 1980:712).

*Diferencia
entre cola
animal y
gelatina*

Las gelatinas de un mismo origen pueden tener propiedades físicas muy diferentes como resultado de modificaciones en el proceso

de obtención, que a su vez son responsables de variaciones en el grado de degradación del producto final obtenido.

Propiedades

A continuación se establecen una serie de propiedades que permiten caracterizar los distintos tipos de gelatinas:

- a) *Propiedades físicas y químicas de la gelatina.* Se suministra en polvo y en forma granulada. El contenido de humedad de la gelatina comercial seca se sitúa entre el 9% y el 15%; es insípida y se presenta como un sólido brillante, de un color que va del amarillo pálido a un ámbar oscuro. Las propiedades se miden en solución acuosa de la gelatina y están en función de la fuente de colágeno, el método seguido en su obtención, las condiciones de extracción y concentración, la temperatura de proceso, el pH, las impurezas y los aditivos (Brandis, 1990:127; Viro, 1980:711).

La viscosidad puede ser modificada mediante mezclas con productos compatibles, como son las gomas naturales y los espesantes artificiales, como, por ejemplo, la carboximetilcelulosa.

*Tests de
identificación*

La gelatina da una reacción positiva en el test de Biuret, en el test de Molisch y también en la reacción xantoprotéica; todo ellos son ensayos normalmente utilizados para la identificación de proteínas (Brandis, 1990:127; Martínez, 1972:41).

- b) *Estabilidad.* La gelatina en estado seco tiene un largo periodo de vida, siempre y cuando se mantenga en un recipiente hermético a temperatura. Sin embargo, se descompone por encima de 100° C y se produce su completa combustión a una temperatura superior a 500° C. Las soluciones acuosas o geles de gelatinas son altamente susceptibles al crecimiento de bacterias y al ataque enzimático. La estabilidad de las soluciones está en función del pH y de los electrolitos, descendiendo con el incremento de la

temperatura a causa del desarrollo de reacciones de hidrólisis (Viro, 1980:712).

- c) *Solubilidad*. Es prácticamente insoluble en alcohol absoluto, acetona, éter, benceno así como en algunos otros disolventes orgánicos no polares, sin embargo, es soluble en agua, ácido acético y soluciones acuosas de alcoholes polihidroxílicos tales como glicerol, propilenglicol o sorbitol (Rose, 1977:61; Viro, 1980: 711). La viscosidad de las soluciones acuosas de gelatina aumenta con el incremento de la concentración y disminución de la temperatura.

La gelatina absorbe agua y se hincha, siendo este proceso exotérmico. Los granos de gelatina hinchada se disuelven rápidamente en agua a 35° C, y al enfriar de nuevo vuelven rápidamente al estado de gel. Las cadenas polipeptídicas de la gelatina pueden experimentar reacciones de entrecruzamiento, responsables de la insolubilización de la gelatina y su endurecimiento permanente. Este proceso químico se puede provocar mediante la adición de ciertos reactivos, y se utiliza para la elaboración de productos fotográficos.

- d) *Hinchamiento*. El tiempo y grado de hinchamiento es una característica particular de cada gelatina; depende del número de entrecruzamientos así como de la interacción constante del polímero y disolvente. En la gelatina, los entrecruzamientos se establecen a través de múltiples interacciones entre las cadenas que forman las "fibrillas" y que reducen el hinchamiento. La estabilidad de estos entrecruzamientos depende del pH, la temperatura, el tiempo y los electrólitos. Tanto el pH como los electrólitos afectan al hinchamiento, considerando a la gelatina como una membrana semipermeable. La gelatina tiene su menor



grado de hinchamiento en su punto isoeléctrico (Rose, 1977:61; Viro, 1980:712).

*Gelatina
experimentada*

La gelatina utilizada en la elaboración de la emulsión fotosensible que se desarrolla, es la comercializada por la marca DIFCO con el nombre de *Bacto Gelatin* (núm. de ref. 0143 - 01); posee una dureza de aproximadamente 200 Bloom¹³⁵. Es una gelatina de alto grado de pureza, que se presenta en forma granular lo cual facilita su manejo. La fuente de la gelatina es de las clasificadas como de origen no bovino. Es utilizada especialmente para todos los procedimientos microbiológicos que requieren un producto de alta pureza, claridad y pH específico. El punto de fusión de una concentración al 12% de esta gelatina se encuentra dentro del intervalo de 28 a 30° C, lo cual permite que se utilice como agente solidificante. Una solución al 12% de esta gelatina presenta un pH 6,8.

Las soluciones de esta gelatina son transparentes y van de incoloras a un color pajizo claro, dependiendo de su concentración. Conviene almacenarla hasta su uso a una temperatura entre 15 y 30° C.

Según la información suministrada por la casa comercial, puesto que se trata de un compuesto hidrolizado heterogéneo, no se puede proporcionar un peso molecular concreto.

La concentración de gelatina utilizada en la composición de la emulsión ha sido determinada tras numerosos ensayos. Se han obtenido resultados óptimos a una concentración del 4,3% (p/p)¹³⁶.

Los ensayos realizados hasta llegar a esta optimación se recogen en el Anexo de esta Memoria.

¹³⁵ La rigidez de los geles se expresa mediante los grados Bloom de la fuerza del gel, lo cual corresponde al peso requerido para que un émbolo estándar penetre 4 mm en una superficie de gelatina al 6,67 % mantenida a 10° C.

¹³⁶ La expresión (p/p) corresponde a la relación: gramos de soluto / 100 gramos de disolución.

III.1.1.1.2.- Sensibilizador

La adición de un sensibilizador al coloide provoca su insolubilización y en consecuencia su endurecimiento permanente; este efecto se logra mediante la exposición de la mezcla de ambos a la acción de la luz. El sensibilizador utilizado para este tipo de emulsiones es a base de dicromatos.

Función

Los dicromatos son sales de ácido crómico y, concretamente, los de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, y potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ son los más usados, no así el de sodio $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, debido a su higroscopicidad elevada (Clerc, 1947:349; Nadeau, 1986:13; Raviola, 1969:207). Son compuestos inorgánicos que se presentan en forma de cristales de color rojo-anaranjado.

Dicromatos

De los dos dicromatos, amónico y potásico, el primero es el más soluble en agua¹³⁷, menos tóxico y de un grado de sensibilidad ligeramente superior (Bargilliat, 1958:345; Glafkides, 1967:653; Nadeau, 1986:14).

Dicromato amónico

La gelatina impregnada de dicromato constituye un sistema fotosensible. Bajo la acción de la luz tiene lugar la formación de un derivado crómico que insolubiliza localmente la gelatina. De forma general este proceso tiene lugar por polimerización de las moléculas del coloide mediante acoplamientos de iones de cromo con grupos polares del coloide. A este respecto, señalar que para que una sustancia dicromatada sea sensible a la luz necesita la presencia de grupos polares -OH ó -COOH (Glafkides, 1967:652).

Insolubilización

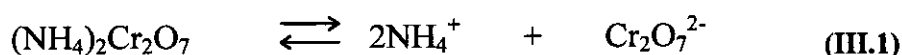
Este proceso de insolubilización, debido a la acción oxidante de los dicromatos, es un fenómeno que se produce de manera espontánea y

¹³⁷ Según Raviola (1969:207), en 100 gr. de H_2O a 30° C se disuelven 15 gr. de dicromato de potasio, mientras que en la misma cantidad de H_2O es posible disolver 32 gr. de dicromato amónico.

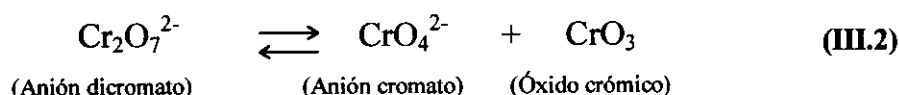
lentamente en la oscuridad; por lo tanto, la exposición a la luz no hace sino acelerar la transformación. La insolubilización producida en la oscuridad, como en la mayoría de las reacciones químicas, es proporcional a la temperatura y al grado de humedad existente.

Reacciones

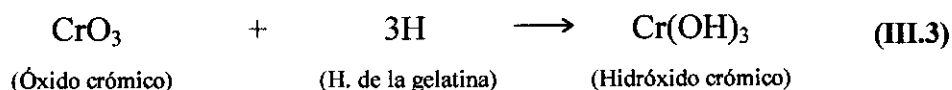
En disolución, el dicromato amónico se disocia en aniones dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ y cationes amonio NH_4^+ .



A su vez, el anión dicromato en disolución se encuentra en equilibrio con el anión cromato y óxido crómico (Glafkides, 1967:652; Raviola, 1969:212):



El óxido crómico es un oxidante muy fuerte e inestable; reacciona espontáneamente con el coloide, transformándose en hidróxido crómico coloidal e insolubilizando el coloide, según la siguiente reacción:



Los grupos OH del hidróxido crómico sirven para mantener y consolidar las uniones laterales entre las largas moléculas de gelatina, con lo que las macromoléculas resultantes de estructura entrecruzada resultan menos solubles y permeables al agua (Clerc, 1947:351; Raviola, 1969:213).

Otras reacciones propuestas¹³⁸ por otros autores, según cita Raviola (1969:213), suponen la reducción del dicromato a sesquióxido de cromo (Cr_2O_3), que reaccionan a su vez con una parte del dicromato en exceso para originar un cromato de cromo Cr_2CrO_6 , el cual podría ser el verdadero responsable de la insolubilización.

*Otras
reacciones*

El conjunto de todas estas reacciones intentan dar una explicación plausible del proceso de insolubilización del coloide mediante una disolución de dicromato (Clerc, 1947:351; Glafkides, 1967:652; Namias, 1921:301; Raviola, 1969:212-214), si bien como señala Nadeau (1986:50), el mecanismo de esta transformación molecular es muy compleja y no del todo comprendido.

Al igual que la gelatina, el dicromato por sí solo no presenta sensibilidad alguna a la luz.

La mayor o menor sensibilidad a la luz de la emulsión fotosensible depende del grado de concentración de dicromato adicionado al coloide. Es conveniente tener la solución de dicromato lo más concentrada posible, sin olvidar que, si se pasa de cierto límite, puede cristalizar. La concentración apropiada de dicromato en el coloide varía según el tipo de coloide que se utilice. La solución de dicromato se obtiene mediante su disolución en agua, después es conveniente filtrarla y guardarla en un recipiente bien cerrado de cristal de color marrón oscuro y en un ambiente fresco (Bargilliat, 1958:345-346; Nadeau, 1986:15; Raviola, 1969:215).

*Concentración de
dicromato*

Conservación

La sensibilidad y conservación de la emulsión fotosensible antes de su procesado depende en gran medida de dos factores: humedad y pH. Un elevado contenido de humedad reduce la sensibilidad y conservación de la emulsión, mientras que un pH bajo reduce su conservación.

Humedad y pH

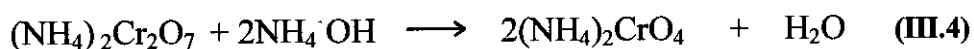
¹³⁸ Se utiliza el término de "reacciones propuestas" ya que no son conocidas exactamente.

*Insolubilización
en la oscuridad*

En la solución de dicromato se mantiene el equilibrio entre las moléculas de óxido crómico CrO_3 y las moléculas de cromato de amonio o potasio (Ec. III.2); puesto que el CrO_3 interviene en el proceso de insolubilización de la gelatina, según la reacción III.3, este equilibrio se desplaza hacia la derecha formándose una nueva cantidad de CrO_3 que continuará a su vez desarrollando la reacción de insolubilización. Este proceso tiene lugar en la oscuridad (Raviola, 1969:215).

Amoníaco

La adición de amoníaco tiende a hacer más lentas estas reacciones de insolubilización en la oscuridad, transformando el dicromato poco estable en cromato neutro más estable (Bargilliat, 1958:346; Raviola, 1969:215).



Cuanto más alto es el pH de la emulsión (solución de carácter básico) menor es su sensibilidad. Con, aproximadamente, un pH 9 la emulsión puede conservarse bastante tiempo sin alteraciones sensibles. Generalmente, la cantidad de amoníaco que se añade a la emulsión difiere según los autores consultados (Clerc, 1910:333; Coote, P. S. y K. S., 1956:80; Bargilliat, 1958:347; Namias, 1935:763; Raviola, 1969:217; Sassi, 1922:235), si bien, el mejor sistema es medir el pH de la emulsión. En el proceso que se desarrolla no ha sido necesario utilizar amoníaco, ya que las emulsiones preparadas son expuestas a la luz y procesadas a continuación.

*Contraste de
la copia*

La concentración de dicromato que forma parte de la emulsión, determina el contraste de la copia. Bajas concentraciones de dicromato (del orden del 1%) aumentan el contraste pero, al mismo tiempo, disminuyen la sensibilidad de la emulsión. Por el contrario, altas concentraciones de dicromato (próximas al 6%), disminuyen el contraste, pero aumentan la sensibilidad. Una emulsión al 6% de concentración de dicromato es de tres a cuatro veces más sensible que al 1% (Crawford, 1979:184; Glafkides, 1967:664; Nadeau, 1986:14;

Zelich, 1995:74). La reducción del contraste con elevadas concentraciones de dicromato se debe a su acción restrictiva, al actuar como filtro el color amarillo del sensibilizador ante la acción de la luz ultravioleta - azul, bajo la cual se efectúa la exposición de la emulsión (Bargilliat, 1958:346; Coote, P.S. y K.S., 1956:81).

Teniendo en cuenta que la imagen a reproducir mediante la emulsión fotosensible es de alto contraste, es decir, una imagen sin transiciones tonales, por tanto en este caso será necesario utilizar para su reproducción una solución de dicromato con una baja concentración.

Las mismas concentraciones de los dos dicromatos, amónico y potásico, no producen los mismos efectos; según Crawford (1979:184), una solución de dicromato potásico al 3,5% tiene la misma sensibilidad, contraste y cualidades que una solución de dicromato amónico al 2,5%.

En ocasiones se pueden utilizar lo que se denominan *sensibilizadores rápidos*; se trata de disoluciones del sensibilizador en agua y un disolvente orgánico volátil, tal como la acetona o el alcohol isopropílico. Las películas preparadas a partir de estas disoluciones presentarán mayor velocidad de secado. Con la solución de dicromato amónico se puede utilizar bien alcohol isopropílico, bien acetona; en cambio con la solución de dicromato potásico únicamente debe utilizarse acetona, ya que el alcohol reduciría el dicromato potásico (Crawford, 1979:185; Nadeau, 1986:16).

*Sensibilizadores
rápidos*

Existen otros tipos de sensibilizadores aplicables a los coloides, como son los dicromatos de piridina o de quinoleína (Clerc, 1947:349; Glafkides, 1967:653). Estos productos se preparan mezclando ácido crómico H_2CrO_4 con la base piridina o quinoleína en solución concentrada, o bien adicionando estos compuestos a los dicromatos alcalinos, amónico y potásico, para aumentar su sensibilidad (Coote, P.S. y K.S., 1956:82). En las emulsiones desarrolladas no se han realizado pruebas con estos tipos de sensibilizadores.

*Otros
sensibilizadores*

Una vez expuesta a la luz y revelada, la solubilidad de la gelatina endurecida por el dicromato puede ser regenerada mediante su inmersión durante treinta minutos en una solución de perborato de sodio al 5%, y a una temperatura de 10 °C, proceso que provoca la eliminación de óxido de cromo (Glafkides, 1967:654).

Porcentaje de sensibilizador

La solución de sensibilizador utilizada en el desarrollo de la emulsión fotosensible ha sido de 4 gr. de dicromato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en 100 ml de agua. A su vez, la proporción de dicromato que forma parte del conjunto de la emulsión supone un 0,4% (p/p).

*III.1.1.1.3.- Sustancia colorante*¹³⁹

La imagen de puntos que se pretende conseguir con la emulsión fotosensible debe tener un color determinado. Concretamente, se pretende que la imagen de puntos de cada FTT pueda obtenerse con cada uno de los tres colores base: amarillo, magenta y cian; para ello es necesario adicionar a la emulsión ciertas sustancias colorantes.

Proceso al carbón

En el año 1855, Alphonse Louis Poitevin, patentó el primer proceso denominado "al carbón", que consistía en añadir un pigmento a la mezcla de coloide dicromatado. El pigmento inicial era el negro carbón, de ahí el nombre que define el proceso (Crawford, 1979:69; Zelich, 1995:67).

Exigencias técnicas

La emulsión fotosensible en sí misma tiene un color amarillo-anaranjado correspondiente al color del sensibilizador. La sustancia colorante puede ser cualquier materia coloreada que se corresponda con los tres colores base, amarillo, magenta y cian, siempre que sea compatible con el medio y no produzca reacciones con ninguno de los restantes componentes de la emulsión fotosensible (Raviola, 1969:208).

¹³⁹ Por sustancia colorante debe entenderse, en su más amplio sentido, el concepto que incluye tanto a los pigmentos como a los tintes.

La cantidad de colorante añadido a la emulsión dependerá del resultado que se desee obtener, y dentro del límite que presenta el coloide de poder aglutinarlo. Su concentración afecta al contraste de la imagen, cuanto mayor sea ésta mayor será el contraste (Nadeau, 1986:57-58).

Como agentes colorantes se han utilizado pigmentos orgánicos sintéticos. Su selección se ha realizado a partir de los ofertados en el mercado, y más concretamente entre aquellos que más se aproximan a los colores teóricos ideales sustractivos descritos en el apartado II.2.2.2 del capítulo II, si bien, hay que señalar que estos colores reales distan bastante de los colores teóricos descritos.

*Pigmentos
orgánicos
sintéticos*

Tras numerosos ensayos, realizados con diferentes pigmentos de distintas marcas comerciales, se han obtenido resultados satisfactorios con los pigmentos sintéticos orgánicos que se describen en los apartados siguientes:

Magenta.- Para el color magenta, se ha utilizado un pigmento de composición química a base de quinacridona (dimetil quinacridona), comercializado por la marca *Talens* con el número de referencia 43. Presenta una excelente estabilidad a la luz, así como una excelente resistencia a los ácidos, álcalis y jabones (Ehrich, 1988:602; Kühn, 1986:174; Pizzarello, 1973:348). Su fórmula química es $C_{22}H_{16}N_2O_2$, y su índice de color es el nº 73915 (Mayer, 1993:108). La cantidad adicionada de este color magenta en la elaboración de la emulsión fotosensible corresponde a un 3% (p/p).

*Porcentaje de
magenta*

Cian.- El pigmento utilizado es comercializado por la marca *Winsor & Newton*. Se presenta con distintas nomenclaturas como "azul de ftalocianina", "azul thalo"

Porcentaje de
cian

o "azul Monastral". Su composición química base es ftalocianina de cobre, complejo cúprico de tetravenzoporfirazina. Presenta una excelente estabilidad a la luz, así como a los agentes químicos y físicos (Kühn, 1986:174; Mayer, 1993:73; Patton, 1973:176; Pincas, 1991:166; Smith, 1988:665). Su fórmula química es $C_{32}H_{16}N_8Cu$, y su índice de color es el n° 74160 (Mayer, 1993:73; Pincas, 1991:165). Forma parte de la emulsión fotosensible en un 1,7% (p/p).

Porcentaje de
amarillo

Amarillo.- El pigmento utilizado es comercializado con el nombre de "yellow permanent" por la casa *Rowney*. Es un compuesto monoazoico con componentes diazo y acetoacetarilamidas. Presenta una buena estabilidad a la luz, debido a los grupos orto - NO_2 que contiene (Schunck y Hunger, 1988:429), también es resistente a los álcalis (Patton, 1973:176). Su fórmula química es $C_{17}H_{16}N_4O_4$, y su índice de color es el n° 11680 (Mayer, 1993:123). La concentración de este color en la composición de la emulsión fotosensible es de un 1,7% (p/p).

III.1.1.1.4.- Bactericidas

Fenoles

Porcentaje

Las soluciones acuosas o geles de gelatinas son altamente susceptibles al crecimiento de bacterias y, por lo tanto, es recomendable utilizar preservativos que inhiban el crecimiento bacteriano. En la actualidad, los preservativos preferidos son principalmente los fenoles y sus derivados, así como el sulfato de zinc (Brandis, 1990:126; Nadeau, 1986:53). Se adiciona como bactericida a la emulsión fotosensible un 0,2% (p/p) de fenol (C_6H_5OH).

III.1.1.1.5.- *Plastificantes*

Los plastificantes son productos que aportan una mayor flexibilidad a la emulsión fotosensible, por lo que evitan que la película de gelatina una vez seca tienda a enrollarse o fragmentarse. Estos compuestos son la sacarosa y la glicerina (Coote, P.S. y K.S., 1956:78), y son utilizados en los siguientes porcentajes:

Sacarosa y glicerina

- Sacarosa.....3,3% (p/p).
- Glicerina.....2,2% (p/p).

Porcentaje

III.1.1.2.- *Preparación y aplicación*

Es importante determinar cual es la dosificación adecuada de los componentes de la emulsión fotosensible: coloide, sensibilizador, sustancia colorante, bactericidas y plastificantes. La optimación de sus concentraciones se ha logrado tras numerosos ensayos experimentales¹⁴⁰, si bien en este Capítulo únicamente se recogen los resultados finales.

Dosificación

Señalar que si la dosificación no es la correcta, la película obtenida no presentará las características apropiadas para su aplicación en el método de reintegración que se propone.

Un exceso en la concentración de gelatina hace que, una vez que la emulsión ha sido expuesta a la luz y procesada, la imagen de puntos de medio tono obtenida posea una excesiva rigidez, con lo que su carácter transferible se verá limitado. Por otro lado, una disminución de la concentración puede ser insuficiente para aglutinar la sustancia colorante adicionada y, por lo tanto, llegar ésta a precipitar formando un velo de color sobre el soporte de poliéster.

Gelatina

Concentración elevada

Concentración baja

¹⁴⁰ En el Anexo, se desarrollan algunos de los ensayos realizados, concretamente los más significativos y que han permitido llegar a la obtención de resultados concluyentes.

Concentración adecuada La concentración adecuada de este componente viene también determinada por las características específicas de la gelatina que se utilice, ya que variaciones, como puede ser un grado de dureza distinto, supondrán la realización de nuevos ensayos para determinar la concentración óptima.

Sensibilizador
Exposiciones controlables e imagen de alto contraste Asimismo, para la determinación de la concentración de la solución de dicromato amónico empleada en el baño sensibilizador, se ha tenido en cuenta que los tiempos de exposición para la emulsión fotosensible fuesen fácilmente controlables y los resultados obtenidos de la imagen de puntos de alto contraste. Tiempos de exposición excesivamente largos ocasionarían pérdidas de tiempo innecesarias y, por otro lado, tiempos de exposición excesivamente cortos no permitirían un fácil control de los mismos, ni una respuesta proporcional de la emulsión¹⁴¹.

Sustancia colorante
Equilibrio cromático La dosificación para cada uno de los colores base utilizados se ha realizado teniendo en cuenta, por un lado, la intensidad de saturación deseada en cada uno de ellos, de forma que se pueda establecer un equilibrio cromático por superposición de los tres colores base y, por otro lado, la capacidad de ser aglutinados de acuerdo al grado de concentración de gelatina utilizada.

Tras numerosos ensayos de laboratorio, recogidos de forma resumida en el Anexo, se han obtenido resultados óptimos con las siguientes dosificaciones de los componentes:

¹⁴¹ Una exposición es correcta cuando se obtiene el grado deseado de coloración en la emulsión, es decir, cuando la emulsión ha sido afectada por una intensidad de luz conveniente durante un lapso de tiempo apropiado ($E = I \cdot t$). Luego de acuerdo a esta ecuación se podrá obtener el mismo grado de coloración si se reduce la intensidad a la mitad y se duplica el tiempo. Sin embargo, este proceso de reciprocidad se interrumpe cuando se aplican fuertes intensidades de luz con tiempos cortos de exposición. Inversamente, tiempos de exposición prolongados con bajas intensidades interrumpen igualmente esta relación. Es lo que se denomina fallo de la ley de reciprocidad.

Tabla III.1. Gelatina coloreada

AGUA	180 ml
GELATINA (200-220 Bloom)	10,3 gr
GLICERINA	5,1 gr
SACAROSA	7,7 gr
COLORANTE	4 / 7 gr*
TENSOACTIVO**	0,4 ml
FENOL	0,4 gr.

* 7 gr. para el color magenta, 4 gr. para el color amarillo y 4 gr para el color cian.

** El tensoactivo utilizado es TRITON X-100.

Tabla III.2. Sensibilizador

DICROMATO AMÓNICO	4 gr
AGUA	100 ml

Una vez conocida la dosificación de cada uno de los componentes que forman parte de la emulsión, el siguiente paso es proceder a la preparación de la misma. Para ello es necesario disponer de una balanza de precisión que permita pesar las cantidades indicadas de cada uno de los componentes.

*Preparación
de la emulsión*

En una probeta graduada se miden los 180 ml de agua destilada a una temperatura de 20 - 25° C y se vierten en un matraz donde se adicionan de forma lenta y con agitación continua los 10,3 gr de gelatina DIFCO. Una vez vertida toda la cantidad de gelatina se deja en reposo durante aproximadamente diez minutos, para la hidratación de la misma.

Transcurrido el tiempo de hidratación, se calienta la solución al *baño María* a una temperatura de 50° C, procurando no sobrepasar en

ningún momento los 60° C, pues las propiedades de gelificación de la gelatina se deterioran más rápidamente; así, por ejemplo, a 80° C la velocidad de degradación es aproximadamente cuatro veces mayor que a 60° C (Kragh y Wootton, 1978:185).

A partir de los 30 - 35° C, los granos de gelatina hinchada se disuelven rápidamente. Una vez disuelta se le agrega el tensoactivo, la sacarosa, la glicerina, el agente colorante y el fenol en las cantidades indicadas en la tabla III.1. Una agitación continuada mediante un agitador magnético permite la homogeneización de la preparación. Esta solución así preparada no es sensible a la acción de la luz, mientras no se le adicione el sensibilizador.

Es conveniente filtrar la solución de gelatina coloreada a través de algodón hidrofílico, para así eliminar posibles impurezas o agregados de partículas de gran tamaño que pudieran existir. Tras esta etapa del proceso se habrá obtenido la gelatina coloreada de cada uno de los tres colores base: amarillo, magenta y cian (Fig. III.3).



Fig. III.3. Gelatina coloreada de cada uno de los tres colores base, antes de su sensibilización.

A la solución preparada de gelatina coloreada se le adiciona una cantidad de la solución de sensibilizador de 27,1 ml de dicromato al 4% en agua (Tabla III.2), agitando de nuevo la solución para su homogeneización. Conviene mezclar solamente la cantidad de emulsión que se prevea utilizar de forma inmediata.

Es, a partir de este momento, cuando la emulsión ya se puede considerar fotosensible, si bien lo será plenamente cuando haya evaporado la mayor parte de su contenido de agua. La emulsión así preparada se guarda en un recipiente de cristal de color topacio y en la oscuridad, a una temperatura de aproximadamente 10° C hasta el momento de su aplicación.

Conservación

El siguiente paso consiste en la aplicación de la emulsión sobre el soporte de poliéster; esta acción que, *a priori*, puede considerarse simple y de poca importancia, no lo es, sino todo lo contrario. De hecho, en el campo de la fabricación de películas fotográficas es un secreto celosamente guardado que requiere de una alta tecnología y sofisticación.

Aplicación de la emulsión sobre el soporte

Antes de proceder a la aplicación de la emulsión sobre el soporte de poliéster es necesario preparar la superficie del mismo. Para ello, ésta se limpia con algodón impregnado en alcohol de 96% para la eliminación de posibles restos de polvo y grasa.

Se ha experimentado la aplicación de la emulsión sobre el soporte de poliéster con distintos métodos manuales, como puede ser con la ayuda de un pincel de pelo muy suave, por inmersión y posterior secado vertical, por movimiento rotacional basado en el esparcimiento de la emulsión por fuerza centrífuga y extendido por barrido. Con ninguno de estos sistemas se han logrado resultados óptimos, en cuanto a la obtención de un sustrato de emulsión uniforme y repetitivo sobre el soporte.

Distintos métodos

A partir de los resultados obtenidos con estos ensayos previos, se ha considerado óptimo el procedimiento que a continuación se describe.

*Método
utilizado*

Se parte de un contenedor, constituido por una superficie plana de metacrilato¹⁴² de dimensiones 19 x 23 cm y un grosor de cinco milímetros, cuyos bordes están delimitados por un marco del mismo material de igual grosor y de dos centímetros de ancho. Se coloca el soporte de poliéster a emulsionar en la superficie interna delimitada por el marco de metacrilato, de forma que quede totalmente plano¹⁴³. El conjunto así formado se coloca sobre una superficie nivelada, con el fin de que, al verter la emulsión sobre el soporte, se obtenga un espesor uniforme. De la forma descrita estará preparado el soporte de poliéster para ser emulsionado.

La cantidad de emulsión que hay que aplicar sobre el soporte se ha optimado de forma experimental; tras diversas pruebas se han obtenido resultados positivos con la aplicación de 0,05 cm³ de emulsión por cada centímetro cuadrado de soporte a emulsionar.

Una vez calculado el volumen total de emulsión, correspondiente al área del soporte a emulsionar, ésta se vierte sobre el soporte de poliéster¹⁴⁴ a una temperatura de aproximadamente 40° C; con la ayuda de un pincel plano de pelo suave se acelera su esparcimiento y, sobre la superficie totalmente nivelada, se deja en reposo hasta que gelifique la emulsión (Fig. III.4).

¹⁴² También resulta válida la utilización de cristal u otros materiales como policarbonato.

¹⁴³ Es conveniente humedecer la parte del soporte que está en contacto con el metacrilato para establecer un íntimo contacto superficial; para ello es necesario ejercer una cierta presión sobre el anverso del soporte con un algodón, para eliminar posibles bolsas de aire existentes entre el soporte y el metacrilato.

¹⁴⁴ Para evitar la formación de burbujas en el vertido de la emulsión se debe realizar a una distancia próxima al soporte. Si la emulsión antes de ser vertida presenta espuma en su superficie, debida a la agitación previa para homogeneizar la solución, se pueden eliminar las burbujas añadiendo una gotas de alcohol etílico o isopropílico.



Fig. III.4. Emulsionado del soporte correspondiente al color cian.

Tras la gelificación, se procede a su secado. El lugar óptimo para realizar esta operación debe estar en completa oscuridad y a una temperatura entre 20 y 25° C, ya que si fuese mayor podría fluir la emulsión y, por otra parte, temperaturas mayores favorecen la reacción de insolubilización espontánea en la oscuridad de la gelatina. El secado puede ser acelerado con la ayuda de un ventilador que proyecte aire a la temperatura mencionada anteriormente, o bien manteniendo la emulsión en un contenedor con circulación de aire. Este último es el procedimiento más conveniente, ya que permite obtener resultados más repetitivos. Si el secado es de forma espontánea, el tiempo de secado dependerá de la humedad relativa existente, así como de la temperatura ambiente. En cualquier caso, el proceso de secado deberá ser estandarizado con el fin de obtener unos resultados óptimos y repetitivos.

Secado

Una vez seca la emulsión aplicada en el soporte de poliéster, se retira el conjunto de ambos del contenedor de metacrilato. A partir de este momento estará en disposición de ser utilizado como película fotosensible, cuestión que será tratada en el apartado III.1.3, en el que se describe el método de obtención de los FTT.

III.1.2.- Negativos tramados

Nomenclatura

Los negativos tramados, también conocidos como fondos tramados o pasados tramados (Sanders y Bevington, 1986:181; Kodak, 1978:4), son negativos en cuanto que la imagen que se obtiene a partir de los mismos es positiva y, por otra parte, son tramados porque contienen una imagen reticulada de signos repetitivos.

Patrón de referencia

Estos negativos tramados son utilizados en la elaboración de los FTT; concretamente, en la fase de formación de la imagen de puntos de color. Es decir, constituyen el patrón de referencia a partir del cual, por contacto con una emulsión fotosensible coloreada y exposición a la luz, se obtienen los FTT.

Signos de formas distintas

Los signos que forman la imagen de los negativos pueden tener diferentes formas, las cuales, a su vez, serán las mismas que las mencionadas al tratar los puntos de medio tono, en relación a los diferentes diseños que pueden adoptar (líneas, puntos, rombos, etc.)¹⁴⁵. A partir de la imagen, negativa, que tengan los negativos se obtendrá la imagen, positiva, de puntos de medio tono de los FTT.

Según el criterio establecido para el desarrollo de esta Memoria en el Capítulo II,¹⁴⁶ las formas geométricas de puntos son las que corresponden a los signos utilizados en los negativos tramados, si bien se han elaborado también negativos con signos constituidos por líneas.

Estructura

La estructura de un negativo tramado está básicamente dividida en dos estratos: soporte e imagen. Al igual que el definido para el FTT, el soporte es transparente, de forma que permita su reproducción fotográfica a su través. La imagen queda definida por las áreas de signos

¹⁴⁵ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.1. *Forma de los puntos*, pág. 157.

¹⁴⁶ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.1. *Forma de los puntos*, pág. 157.

(puntos, líneas), totalmente opacos a la luz, y por las áreas de ausencia de los mismos, que corresponden al soporte totalmente transparente.

Las propiedades que caracterizan los negativos tramados, como son lineatura, inclinación, forma, tamaño y distribución de los puntos, son las mismas que las establecidas para especificar los puntos de medio tono¹⁴⁷. Esto se debe a que los negativos tramados y los puntos de medio tono, obtenidos a partir de los primeros, guardan una relación directa de negativo - positivo.

Características

La imagen de puntos de los negativos tramados forman una distribución uniforme en toda su superficie de un mismo porcentaje de punto (Figs. III.5 y III.6).

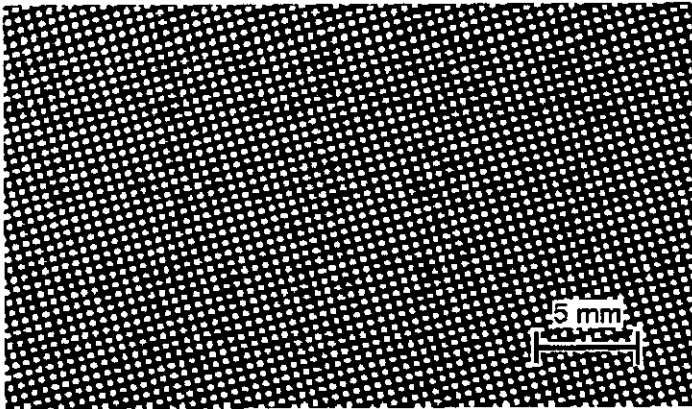


Fig. III.5. Detalle ampliado (x 2,8) de un negativo tramado de un porcentaje de punto del 60%, con una inclinación de 15° y una lineatura de 20 l/cm. La utilización de este negativo dará como resultado un FTT de un 40% de porcentaje de punto correspondiente al color magenta, según la inclinación indicada.

¹⁴⁷ Véanse las propiedades indicadas: lineatura, inclinación, forma tamaño y distribución de los puntos, en las págs. 157-167.

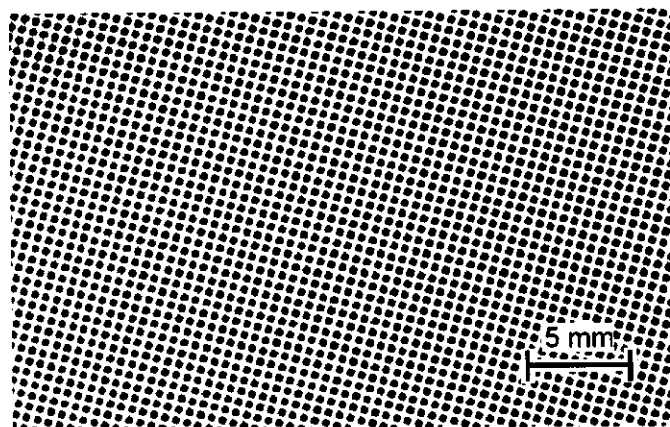


Fig. III.6. Negativo tramado ampliado (x 2,8) de un porcentaje de punto del 30%, con una inclinación de 75° y una lineatura de 20 l/cm. La utilización de este negativo en la elaboración del FTT dará un 70% de porcentaje de punto, y según la inclinación, correspondiente al color amarillo.

*Negativos
tramados con
distintos
porcentajes*

Puesto que el objetivo consiste en elaborar FTT con un rango de porcentajes de punto que comprenda una escala de saturación del 0 al 90% en incrementos del 10%, serán necesarios nueve negativos tramados para cada color base. Los porcentajes concretos de los negativos serán: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90%.

Inclinaciones

Como se indicó al tratar los puntos de medio tono, es necesario que cada uno de los tres colores base tenga una inclinación diferente para su posterior utilización en la reproducción del color¹⁴⁸. Los negativos tramados, a partir de los cuales se obtienen los puntos de medio tono de los FTT, serán los que aporten esa inclinación distinta a cada color base. Estas inclinaciones son las mismas que las especificadas en los puntos de medio tono, es decir, 15° para el negativo a partir del cual se obtiene el FTT de color magenta, 45° para el negativo del color cian y 75° para el negativo del color amarillo (Tabla III.3).

¹⁴⁸ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.6. *Percepción cromática de un diseño de puntos*, pág. 171.

Tabla III.3. Inclinaciones

<i>NEGATIVO TRAMADO</i>	<i>INCLINACIÓN</i>
Color amarillo	75°
Color cian	45°
Color magenta	15°

El número total de negativos tramados necesarios en la elaboración de los FTT empleados en la reproducción del color por el SIRECRAMT, es de veintisiete; nueve para cada color base, ya que cada uno de los colores, amarillo, magenta y cian, debe tener su inclinación correspondiente.

*Número total
de negativos
tramados*

El formato de los negativos tramados utilizados tiene unas dimensiones DIN A4, si bien estas dimensiones siempre deben ser mayores o iguales que las correspondientes al FTT a elaborar.

Formato

Los negativos pueden obtenerse de diferentes formas, bien por medio de sistemas computerizados o bien por medios fotomecánicos. Actualmente, el modo más económico y rápido de obtención es por el primero de ellos:

Obtención

- a) *Sistemas computerizados.* Diversos programas de diseño gráfico existentes en el mercado, hacen posible la obtención de distintos diseños de signos, cuya salida gráfica mediante periféricos como filmadoras, *plotters* o incluso impresoras de tipo láser, permiten obtener negativos tramados.

*Filmadoras,
plotters*

Si la obtención de los negativos tramados se realiza por medio de filmadoras o *plotters*, es necesaria la utilización de material fotosensible convencional de reproducción en blanco y negro para la obtención del negativo, mientras que si es obtenido por medio de impresoras de tipo láser, simplemente la utilización de

soportes transparentes para realizar transparencias permitirá la obtención de los negativos.

Por lo general, la resolución¹⁴⁹ es mayor en los negativos obtenidos mediante filmadoras y *plotters* láser.

Los negativos utilizados en el desarrollo de la parte experimental de esta investigación se han obtenido por medio de un *plotter* láser, utilizando una película fotográfica de alto contraste, ortocromática¹⁵⁰, con base de poliéster de un grosor de 0,10 mm, esta película fotográfica es comercializada por Agfa-Gevaert con el nombre de COPYLINE HT10.

Tramas de
contacto

- b) *Medios fotomecánicos*. Los negativos obtenidos por este sistema, se preparan a partir de materiales fotosensibles y tramas de contacto utilizadas en las artes gráficas para la reproducción del color.

El procedimiento consiste básicamente en someter al conjunto formado por el material sensible y la trama a exposiciones de diferentes intensidades de luz. El material sensible utilizado deberá ser de alto contraste.

La calidad de los negativos obtenidos por ambos procedimientos, fotomecánicos y por sistemas computerizados, es bastante similar, lo que permite tener distintas posibilidades de elección.

¹⁴⁹ Se entiende por resolución la capacidad de definición entre dos puntos muy próximos, de modo que puedan verse separados.

¹⁵⁰ La sensibilidad cromática de las películas fotosensibles utilizadas en artes gráficas se dividen en tres grupos: a) *Sensibles al azul*: aquellas películas cuya emulsión es sensible a la zona azul del espectro. b) *Ortocromáticas*: aquellas que son sensibles a la radiación espectral de la zona azul y verde del espectro. c) *Pancromáticas*: aquellas que son sensibles a la radiación espectral de las zonas azul, verde y roja (Astrua, 1982:133-134; Kodak, 1980:27; Lobel y Dubois, 1973:102).

Un aspecto importante a definir en los negativos tramados a utilizar es su lineatura. Como ya se ha especificado¹⁵¹, la lineatura indica el número de puntos existentes en una longitud determinada, medidos según la dirección de la inclinación.

Lineatura

Una vez aplicada al área a reintegrar la imagen de puntos de color de los FTT, debe estar dispuesta de tal forma que a la distancia de observación de la obra de arte no se aprecien como tales puntos. Para ello se cuenta con la posibilidad de poder obtener FTT con distintas lineaturas de puntos, característica que a su vez viene determinada por los negativos tramados utilizados en su elaboración.

Supuesto un negativo tramado de una lineatura de 60 l/cm frente a otro de 30 l/cm, si bien el primero tiene una definición mayor que el segundo, sin embargo, a efectos prácticos esta propiedad estará en función de la distancia a la que sea observado. Así, teniendo en cuenta la apreciación visual del ojo humano, en la observación de ambos negativos tramados a una distancia determinada, será más probable la identificación de los puntos en el caso de la lineatura de 30 que en la de 60 l/cm.

Apreciación de los puntos

Un claro ejemplo de esta situación se encuentra en la reproducción impresa de imágenes, ya sea en la prensa diaria o en revistas de calidad. En el primer caso, los puntos de trama que configuran las imágenes se perciben a una distancia aproximada entre 25 y 30 cm, distancia a la que normalmente una persona realiza la lectura, no sucediendo lo mismo en las revistas de calidad. La diferencia estriba en que, normalmente, los diarios utilizan tramas del orden de 39 l/cm (100 l/pulg) o inferiores, mientras que en las revistas o ilustraciones de libros son del orden de 60 l/cm (150 l/pulg) o superiores (Burden, 1978:266; Raviola, 1969:140).

Ejemplos

¹⁵¹ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.3. *Espaciado entre los puntos*, pág. 159.

Condicionantes

Por otra parte, la lineatura que se ha de utilizar dependerá también del soporte sobre el que va a ser reproducido el color. Siguiendo con el ejemplo anterior, los diarios presentan un papel de peor calidad en cuanto a su composición química y acabado, responsables de su importante irregularidad superficial. Estas circunstancias impiden la utilización de lineaturas superiores, pues el resultado final no sería satisfactorio en la medida deseada; los puntos a reproducir se mezclarían y distorsionarían involuntariamente (Burden, 1978:266).

Según lo anterior, la lineatura de las imágenes estará determinada por la distancia de observación de la imagen, así como por la textura del soporte sobre la que se aplica.

En este sentido, para el sistema de reintegración desarrollado en esta investigación, las lineaturas estarán, por un lado en función del formato de la obra sobre la que se va a aplicar la reintegración ya que, dependiendo de sus dimensiones, la obra es contemplada a diferentes distancias y, por otro, en función de la uniformidad y granulometría de la superficie sobre la que se va a reintegrar. Este último aspecto es ya patente en los sistemas de reintegración existentes, pues las áreas de estuco sobre las que se realiza la reintegración presentan irregularidades en la superficie, lo que implica, por lo general, un detrimento en los resultados dentro de un mismo tipo de obra.

Puesto que las obras sobre las que es posible aplicar el proceso de reintegración que se propone pueden presentar formatos diferentes, la distancia de observación de las mismas también variará. Si se considera que la reintegración efectuada no debe apreciarse a la distancia normal de observación de la obra, será necesario disponer de FTT con distintas lineaturas, o bien aplicar un FTT con una lineatura lo suficientemente alta como para que se adapte a los distintos formatos de las obras, aunque esta posibilidad estará limitada por las texturas de las mismas. Por lo tanto, será conveniente disponer de FTT de distintas

lineaturas y, en consecuencia, de distintos negativos tramados para su elaboración, ya que a partir de éstos se obtienen los correspondientes FTT.

A modo de ejemplo relacionado con lo expuesto anteriormente, se puede comparar el proceso de reintegración que convencionalmente se efectúa en una pintura mural de notables dimensiones, con respecto a la reintegración llevada a cabo en una pintura de caballete de formato reducido. Si se aplica la técnica de reintegración del puntillismo, en el primer caso se procederá con puntos de mayor tamaño que los empleados en una pintura de caballete. La razón de esta diferencia estriba en que, por un lado, la reintegración será contemplada, en general, a una mayor distancia para la cual los puntos no serán apreciados y, por otro lado, la textura que ofrecen las áreas de reintegración en la pintura mural no son de las mismas calidades que las de la pintura de caballete; concretamente, su superficie es menos uniforme y homogénea, con lo que el uso de puntos del mismo tamaño que los ejecutados en la pintura de caballete no sería posible bajo el aspecto de materializarlos físicamente.

Para determinar la lineatura que resulte más aconsejable en relación con las características de la obra a reintegrar, se procederá según se describe a continuación.

*Determinación
de la lineatura*

Si se establece que la distancia de observación de una obra, según sea su formato, es por ejemplo de 60 cm, y que los puntos de medio tono de los FTT aplicados sobre la misma en la reintegración no deben ser apreciados a esa distancia, se tendrá que considerar la agudeza visual del observador para determinar la lineatura de los puntos de los FTT a aplicar.

Asimismo, teniendo en cuenta que la agudeza visual para la resolución de elementos dentro de un diseño, corresponde a un ángulo

visual de aproximadamente un minuto y treinta segundos¹⁵², se puede determinar la lineatura del diseño de puntos que debe utilizarse.

En primer lugar, y partiendo de este ángulo visual se calcula por trigonometría la anchura correspondiente a un enrejado de líneas de igual grosor y separación¹⁵³, que no sean discernibles a una distancia de 600 mm.

$$\text{Anchura de líneas} = \text{tg } 1' 30'' \times 600 \text{ mm} = 0,26 \text{ mm}$$

Por tanto, 0,26 mm es el grosor de una línea o la separación entre líneas, y en consecuencia la distancia de separación entre los ejes de dos líneas consecutivas será el doble, es decir, 0,52 mm (Fig. III.7).

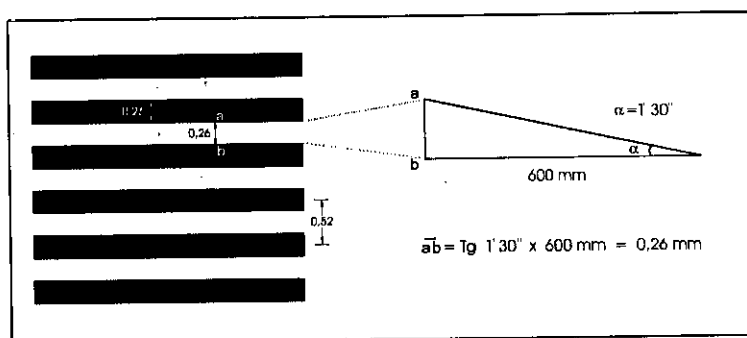


Fig. III.7. Esquema que muestra el cálculo para determinar la distancia máxima de separación entre líneas que forman parte de un enrejado, de forma que no sean apreciables como tales a una distancia de 60 cm, teniendo en cuenta la agudeza visual para elementos que forman parte de un diseño.

Esta distancia de separación de 0,52 mm entre los centros de dos puntos consecutivos permite calcular la lineatura de los FTT con los que se realice la reintegración y, de igual forma, la correspondiente al

¹⁵² Véase cap. II, ap. II.2.2.3.3. *Espaciado entre los puntos*, pág. 163.

¹⁵³ Este enrejado de líneas correspondería en un diseño de puntos a un porcentaje del 50%.

negativo tramado que se utilice para hacer esos FTT; concretamente, la distancia de separación entre dos puntos de 0,52 mm corresponde a una lineatura de aproximadamente 20 l/cm.

Se han elaborado negativos tramados con diferentes lineaturas, con el fin de poder disponer de FTT que cubran los distintos formatos de obras y tipos de soportes, que puedan presentarse en un proceso de reintegración. Así, se han realizado negativos tramados de lineaturas de 39, 20 y 8 l/cm respectivamente. Los negativos tramados con una lineatura de 39 l/cm, permiten obtener FTT adecuados para efectuar una reintegración sobre una obra que se observe a una distancia igual o superior a treinta centímetros, sin que se perciban los puntos del diseño; la lineatura de 20 l/cm se utilizará para obras observadas a más de sesenta centímetros y la de 8 l/cm en aquellas que lo sean a ciento cincuenta centímetros de distancia.

*Negativos
tramados con
distintas
lineaturas*

Es obvio que la aplicación de una lineatura elevada puede resultar adecuada para obras de gran formato, siempre que la textura del soporte lo permita; esta circunstancia hace posible reducir la variedad de FTT en lo que se refiere a sus distintas lineaturas.

En esta investigación se han utilizado negativos tramados con lineaturas de 39 l/cm para elaborar los FTT utilizados en el capítulo siguiente; en esta elección se ha aplicado el criterio de que una elevada lineatura permite cubrir un mayor número de formatos diferentes de obras.

Otro tipo de negativos tramados son los utilizados para obtener los FTT empleados en la elaboración de las tablas cromáticas (Figs. III.8-10). Presentan las mismas características, si bien en este caso la imagen de puntos no está distribuida en toda su superficie, sino en pequeñas áreas que a su vez corresponden a los distintos porcentajes de punto para cada uno de los colores base, lógicamente, la inclinación de

*Negativos
tramados para
las tablas
cromáticas*

los diseños de puntos vendrá determinada por el color base a obtener: 15° magenta, 45° cian y 75° amarillo (Figs. III.11-13).

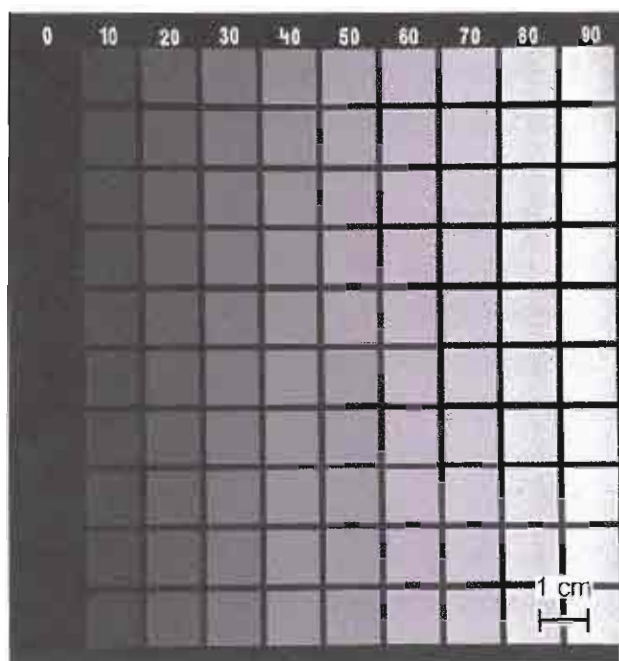


Fig. III.8. Negativo tramado utilizado en la elaboración de las tablas cromáticas para el color magenta. Cada columna presenta un mismo porcentaje de punto (señalar que los porcentajes indicados en esta figura corresponden al color base a obtener), que aumenta de izquierda a derecha¹⁵⁴.

¹⁵⁴ Se ha especificado el porcentaje de punto del color base a obtener y no el que realmente corresponde al negativo, debido a que en el proceso de transferencia esta numeración es también transferida en la tabla cromática.

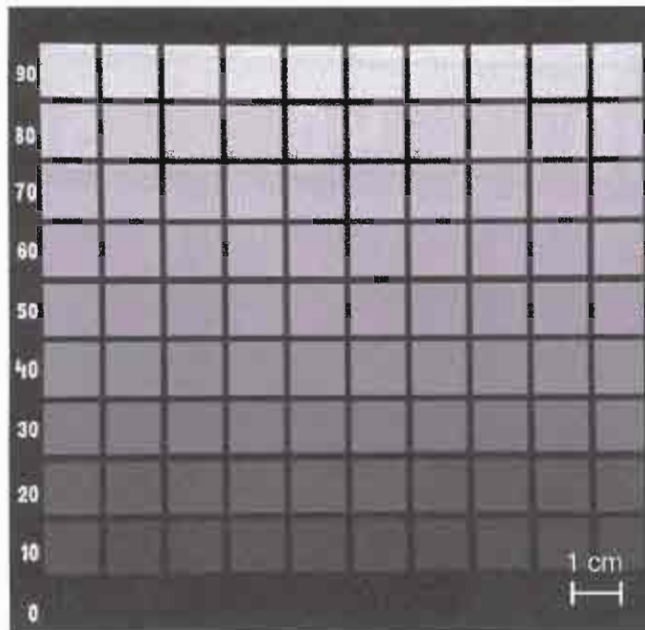


Fig. III.9. Negativo tramado utilizado en la elaboración de las tablas cromáticas para el color cian. Cada fila presenta un mismo porcentaje de punto, que aumenta de abajo-arriba.

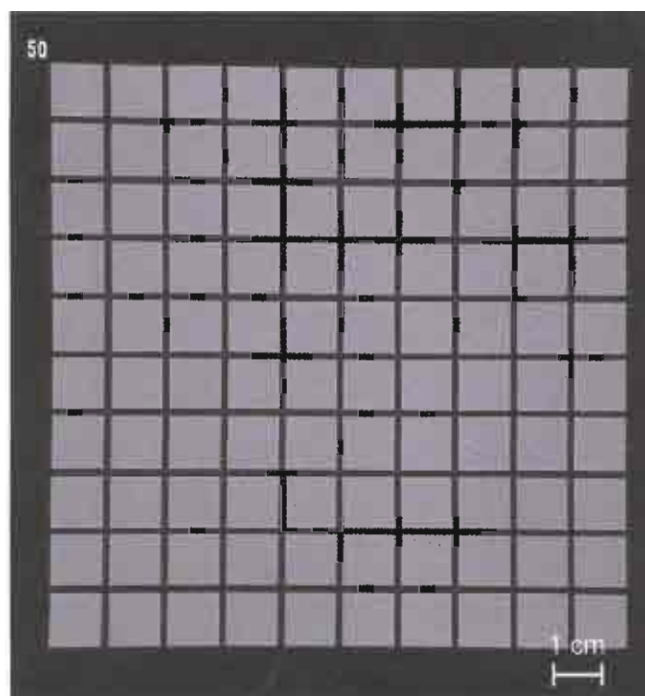


Fig. III.10. Negativo tramado utilizado en la elaboración de las tablas cromáticas para el color amarillo. Todos las áreas presentan el mismo porcentaje de punto, siendo en este caso concreto del 50%.

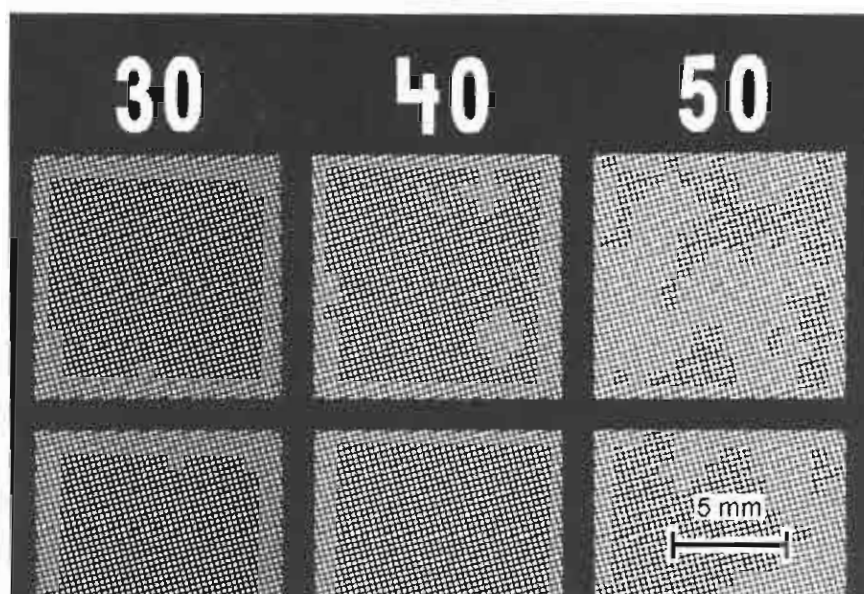


Fig. III.11. Detalle ampliado (x 3) de la figura III.8 del negativo tramado para la elaboración de la cartas de colores correspondiente al color magenta, cuyos porcentajes de punto aumentan según las columnas. Presenta una inclinación de 15° y una lineatura de 39 l/cm.

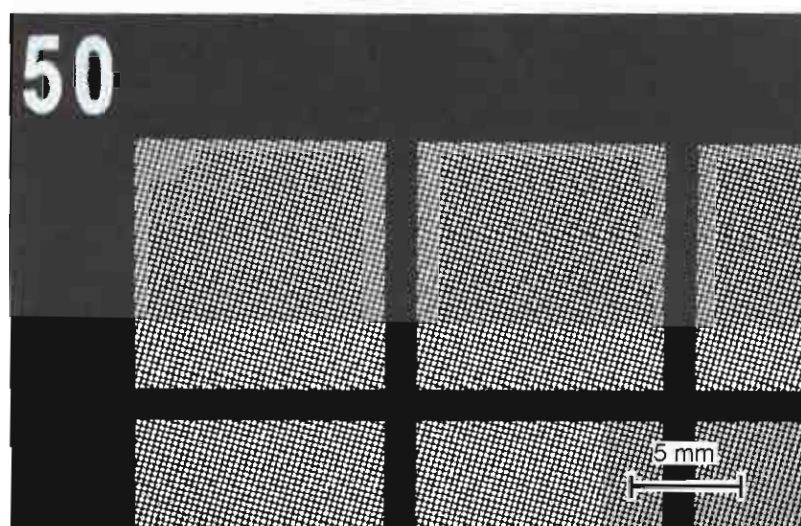


Fig. III.12. Detalle ampliado (x 3) de la figura III.10 del negativo tramado para la elaboración de la cartas de colores correspondiente al color amarillo de un 50% de porcentaje de punto. Presenta una inclinación de 75° y una lineatura de 39 l/cm.

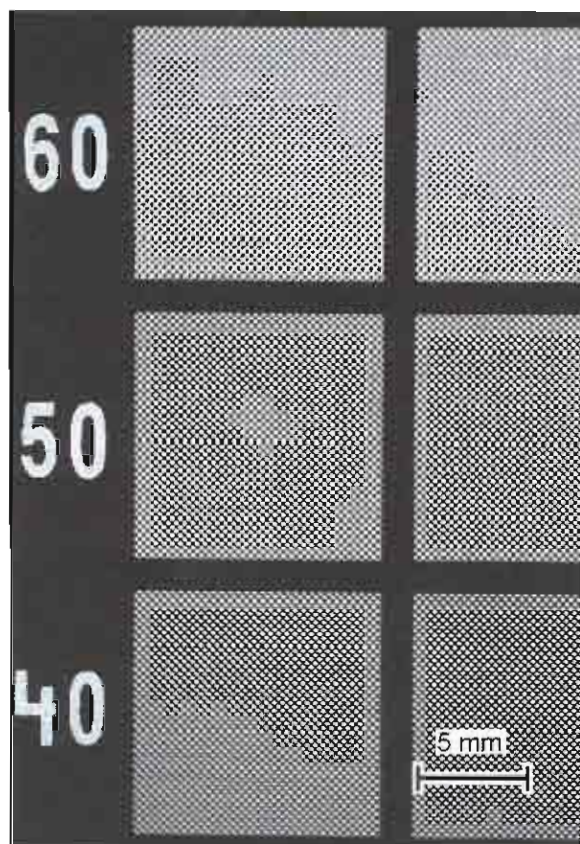


Fig. III.13. Detalle ampliado (x 3) de la figura III.9 del negativo tramado para la elaboración de la cartas de colores correspondiente al color cian, cuyos porcentajes de punto aumentan según las filas. Presenta una inclinación de 45° y una lineatura de 39 l/cm.

Todos los aspectos mencionados (porcentaje de punto, inclinación, lineatura) que caracterizan los negativos tramados y en consecuencia los FTT, son factibles de obtener por los sistemas descritos anteriormente, es decir, por medios fotomecánicos o por sistemas computerizados. En este caso, los negativos tramados han sido elaborados por sistemas computerizados.

III.1.3.- Obtención de los FTT

Para la obtención de una imagen fotográfica positiva por contacto directo, básicamente, son necesarios dos elementos: la película fotosensible y un negativo.

En los dos apartados anteriores se ha mostrado la forma de obtener la película fotosensible y los negativos tramados, elementos ambos imprescindibles para la elaboración de los FTT.

El siguiente paso consiste en exponer la película fotosensible a una luz actínica a través de un negativo tramado. Para realizar esta operación, es necesario actuar tal y como se describe en el siguiente apartado.

III.1.3.1.- Montaje y exposición

Luz de seguridad

Una vez seca la película fotosensible en la oscuridad, se procede a su *montaje, exposición y revelado*; todas estas etapas deben realizarse bajo una luz de seguridad, como puede ser una luz amarilla o una tenue luz indirecta, ya que de lo contrario podría velarse la emulsión (Nadeau, 1986:13).

Montaje

El *montaje* se realiza de la siguiente manera: sobre un soporte rígido, uniforme y de superficie lisa, tal como un cristal o una placa de metacrilato, se pone una cartulina negra, sobre la que se coloca el soporte emulsionado con la cara de la emulsión hacia abajo; encima se sitúa el negativo tramado con la cara de la imagen igualmente hacia abajo y, por último, otro cristal o metacrilato transparente (Figs. III.14 y III.15).

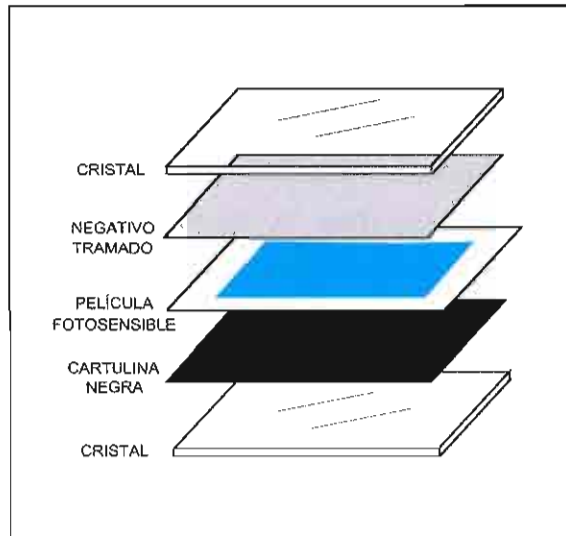


Fig. III.14. Esquema de la disposición de los distintos elementos del montaje para efectuar la exposición a la luz actínica del soporte emulsionado.

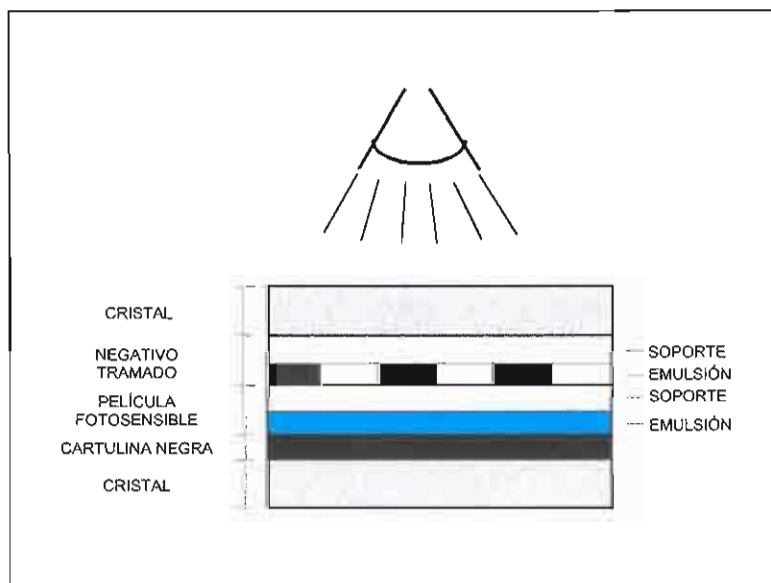


Fig. III.15. Estructura estratigráfica detallada de los elementos que forman el montaje.

El conjunto de los elementos mencionados se dispone entre dos cristales para que, por medio de un resorte, se aplique la presión suficiente, de forma que se establezca un íntimo contacto entre aquellos (Fig. III.15). A este respecto, señalar que la existencia de bolsas de aire impediría un íntimo contacto de las superficies, y en consecuencia no se conseguiría una reproducción fidedigna de la imagen del negativo en la emulsión, tal y como se muestra en la figura III.16. Este efecto es debido, entre otros factores, a la difracción de la luz en los bordes de los puntos¹⁵⁵.

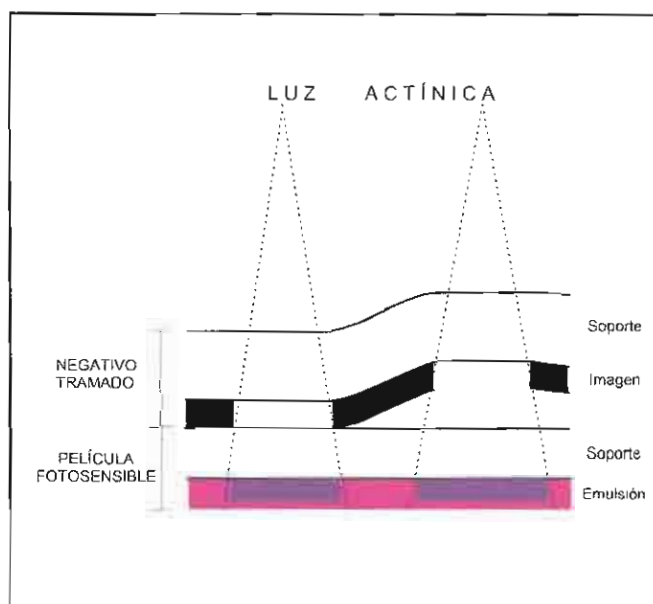


Fig. III.16. Distorsión producida en la imagen de puntos obtenida debido a la existencia de bolsas de aire entre la emulsión fotosensible y el negativo tramado. A este efecto hay que añadir la difracción de la luz que se pueda producir en los bordes de los puntos de imagen.

Exposición

Una vez efectuado el montaje se procede a su *exposición* a la luz. La eficacia de las radiaciones luminosas sobre las emulsiones

¹⁵⁵ Véase cap. II, ap. II.1.1.2.6. *Difracción*, págs. 88, 89.

fotosensibles dicromatadas es máxima a 210 nm en el ultravioleta lejano, la sensibilidad decrece a 325 nm y luego asciende a un segundo máximo, inferior al primero, a 355 nm en el ultravioleta cercano, volviendo a descender a 580 nm en el visible¹⁵⁶. La zona activa se encuentra prácticamente entre 355 y 425 nm (Clerc, 1947:353; Glafkides, 1967:652; Nadeau, 1986:18). Exposiciones con fuentes de luz que emitan en longitudes de onda superiores (dentro del espectro visible) son también válidas, si bien en este caso habrá que incrementar el tiempo de exposición ya que el contenido energético de la radiación es menor¹⁵⁷.

Todo el conjunto del montaje se introduce en una cámara de exposición constituida por ocho lámparas de luz ultravioleta, con un nivel de iluminación de 1.300 lux. La distribución espectral de energía de las lámparas oscila en el intervalo de 260 - 390 nm, con un máximo de energía (0,80 W) a 317 nm. Los tiempos de exposición varían según el color de la emulsión fotosensible, como se explicará posteriormente.

Luz actínica

La utilización de integradores de luz permite efectuar exposiciones precisas, subsanando las posibles fluctuaciones de voltaje que pudieran producirse durante la exposición, así como el envejecimiento o desgaste de las lámparas (Nadeau, 1986:2).

Las áreas transparentes del negativo tramado permiten el paso de la luz y su incidencia sobre la capa de emulsión coloreada; por el contrario las áreas opacas del negativo no dejan pasar la luz y ésta no actúa sobre la emulsión coloreada.

¹⁵⁶ Los límites de la radiación ultravioleta se sitúan aproximadamente entre 100 y 400 nm. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) distingue los siguientes intervalos: a) *Radiación ultravioleta "A"*, corresponde al ultravioleta cercano (llamado a veces "luz negra"), comprende la banda espectral que va de 315 a 400 nm. b) *Radiación ultravioleta "B"*, corresponde al intervalo de 280 a 315 nm. c) *Radiación ultravioleta "C"*, corresponde al intervalo de 100 a 280 nm (Casas, González y Puente, 1991:21).

¹⁵⁷ Véase cap. II, ap. II.1.1.1. *Luz*, pág. 74.

La luz, al atravesar la capa de emulsión coloreada, produce la insolubilización de la gelatina, tal y como se muestra en la figura III.17.

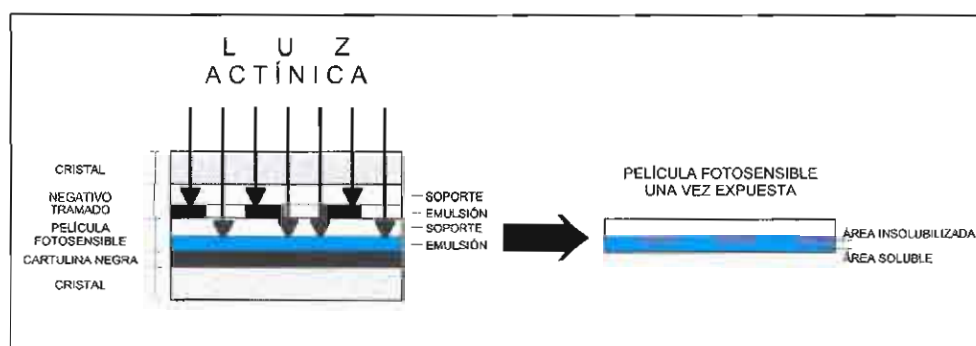


Fig. III.17. Exposición a la luz de la emulsión coloreada. Las áreas de la emulsión donde incide la luz quedan insolubilizadas mientras que en las que no incide permanecen solubles.

El orden estratigráfico de los diferentes elementos del montaje que se exponen a la luz, tiene su fundamento en el propio proceso de insolubilización de la gelatina. La emulsión del negativo se coloca en contacto con el soporte de la emulsión fotosensible, para que al recibir la luz, la insolubilización de la gelatina se produzca desde la parte en contacto con el soporte hacia el exterior; de esta forma la parte de la emulsión insolubilizada, una vez desarrollado el revelado, queda en contacto con el soporte, mientras que la parte externa no insolubilizada es eliminada (Fig. III.17). Esta forma de operar, exponiendo la emulsión a través del soporte, es similar al sistema fotográfico Dye Transfer (AFHA, 1967:15; Hunt, 1957:42)

Si se hubiera realizado la exposición por la cara de la emulsión en contacto con el soporte, la insolubilización se habría producido en la superficie externa de la emulsión pudiendo haber gelatina soluble entre ésta y el soporte; en consecuencia en el proceso de revelado se arrastraría toda la gelatina, incluso la insolubilizada.

Por otra parte, la colocación de la cartulina negra en la parte inferior tiene como misión absorber la luz después de que ésta haya atravesado la emulsión; de esta manera se evita que sea reflejada por la base, ya que de lo contrario volvería a atravesar la emulsión causando halos¹⁵⁸ indeseados.

Cuando una pequeña cantidad de aire queda atrapada entre dos de los elementos (negativo tramado y soporte emulsionado), se forman una especie de anillos o círculos concéntricos tornasolados con forma irregular. Reciben el nombre de *anillos de Newton* y deben ser eliminados aflojando la presión, de lo contrario, tras el proceso de positivado su existencia dará lugar a la aparición de tonalidades de distinta intensidad, igualmente dispuestas en círculos concéntricos.

*Anillos de
Newton*

Respecto a la iluminación, otro factor a considerar es que la luz incida uniformemente sobre la emulsión fotosensible; este aspecto se puede controlar por medio de un fotómetro¹⁵⁹, midiendo la luz que incide a lo largo de toda la superficie donde se situará la emulsión.

*Control de
iluminación*

A este respecto, se determina la distancia a la que toda la superficie del material fotosensible recibe la misma cantidad de luz; a fin de que sea la misma para todas las exposiciones. En el caso concreto de esta investigación su valor es de, aproximadamente, la diagonal del formato de la emulsión fotosensible.

El ojo y una emulsión fotosensible responden de distinta manera frente a la luz; así, el primero, responde a diferencias en los niveles de iluminación, es decir, intensidad de la luz, mientras que la emulsión fotosensible lo hace frente al total de la iluminación, es decir a la

¹⁵⁸ Halo o velo es una densidad no procedente de la impresión intencionada de la imagen, especialmente en las áreas más claras, ocasionadas por la luz reflejada desde la superficie posterior de la base.

¹⁵⁹ El fotómetro es un instrumento que mide la cantidad de luz que recibe una superficie determinada; para ello se emplea una célula fotoeléctrica que convierte la energía lumínica en energía eléctrica, cuya vibración se puede exteriorizar mediante un voltímetro, cuya escala va graduada en unidades luz.

cantidad de luz recibida. Ambas magnitudes están relacionadas por la expresión: $E = I \cdot t$; siendo E: cantidad de luz recibida; I: intensidad de la luz, y t: tiempo de exposición.

Según esta ecuación, si se parte de una iluminación de intensidad constante, la cantidad de luz recibida por la emulsión variará en función del tiempo de exposición.

*Calculo del
tiempo de
exposición*

Para calcular el tiempo de exposición más adecuado se parte de una tira de pruebas de cada una de las emulsiones coloreadas con los tres colores base. Estas tiras de prueba se obtienen colocando sobre el conjunto de la emulsión fotosensible y el negativo tramado, una cartulina opaca en la que previamente se haya practicado una ventanilla estrecha y larga. La cartulina se coloca de forma que la ventanilla quede a un margen y se realiza la primera exposición; después se desplaza la cartulina de manera que la nueva exposición reproduzca el recuadro de la ventanilla a unos milímetros de la anterior. Se sigue así sucesivamente hasta completar una serie de seis a diez exposiciones distintas, duplicando sistemáticamente el tiempo de exposición con respecto al anterior. Estas tiras de prueba se realizan colocando sobre la emulsión un negativo tramado de distintos porcentajes de punto.

*Densidad
neutral
equivalente*

Después del revelado se valora el tiempo de exposición más adecuado para cada uno de los tres colores; será aquel que, a partir de una densidad y contraste determinados permita reproducir con los tres colores base superpuestos una escala de gris acromática. Para establecer estos valores de tiempo hay que tener en cuenta lo que se conoce como densidad neutral equivalente, la cual equivale a la densidad visual que tendría el color si fuera convertido a un gris neutro, por la superposición de las cantidades requeridas de los otros dos colores del proceso¹⁶⁰ (Kowaliski, 1977:520, 524).

¹⁶⁰ Así, por ejemplo, un color magenta que tenga una densidad neutral equivalente de 1,0, se podrá obtener por combinación con los colores amarillo y cian, de manera que den lugar a un absorbente neutro que tenga una densidad visual de 1,0. Sin embargo, la utilización de los pigmentos disponibles, alejados de su absorción selectiva ideal, impiden la obtención de una densidad equivalente neutral igual para cada uno de los tres colores, y por lo tanto, una escala de gris completamente acromática.

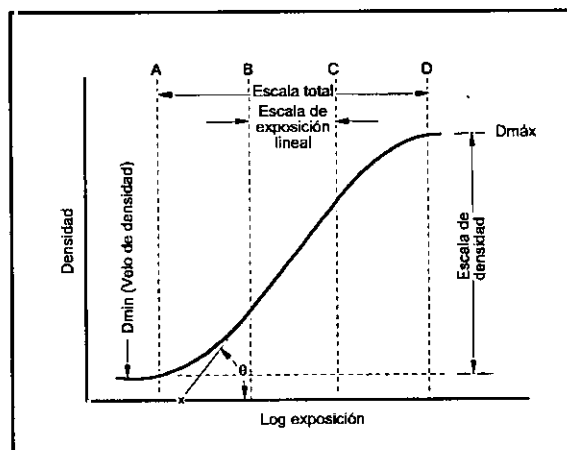
Estos tiempos de exposición son los que se utilizarán en los ensayos posteriores, siempre y cuando no se varíen las condiciones lumínicas, la distancia del foco de luz, la sensibilidad de la emulsión así como las condiciones de procesado. A la emulsión de cada color primario le corresponde un determinado tiempo de exposición; así, para la emulsión coloreada con el pigmento amarillo son diez minutos y medio, para la emulsión coloreada con el pigmento magenta nueve minutos y para la emulsión coloreada con el color cian cinco minutos y medio.

La emulsión de color cian necesita menos tiempo de exposición que la de amarillo y magenta debido a que estos últimos son colores mucho más inactínicos que el primero, y disminuyen notablemente la penetración de la luz actínica de la radiación ultravioleta (Nadeau, 1986:57).

La representación gráfica de la respuesta de una emulsión fotosensible frente al tiempo de exposición a la luz se conoce como su *curva característica* (Fig. III.18); en ella se muestra la variación de la densidad del color de la emulsión frente a los tiempos de exposición¹⁶¹.

Curva característica

Fig. III.18. Curva característica que representa los parámetros sensitométricos densidad - log exposición. Las regiones en que se puede dividir la curva son: *talón o pie* (A-B), *línea recta* (B-C) y *hombro* (C-D).



¹⁶¹ En lugar del tiempo exposición se utiliza el logaritmo del tiempo de exposición, ya que la escala de valores de exposición es demasiado larga para compararla gráficamente con las correspondientes densidades y se haría difícil seguir la curva, sobre todo en la sección de tiempos de exposición muy cortos.

Zonas de la
curva
característica

De manera general, esta curva se puede dividir en tres regiones denominadas *talón o pie*, *línea recta* y *hombro* (Fig. III.18). El *pie* corresponde a la zona de inercia en la que las diferencias entre densidades consecutivas son poco importantes, si bien se van haciendo apreciables a medida que aumentan los tiempos de exposición. En la porción recta de la curva, la densidad varía proporcionalmente con respecto a los tiempos de exposición; es en esta región donde se produce la máxima diferencia de densidad para una diferencia de exposición. En la tercera región -*hombro*-, el comportamiento vuelve a cambiar, así, las diferencias de densidad consecutivas toman valores decrecientes con respecto a la escala de exposiciones (Altman, 1977:501; Astrua, 1982:73-75; Burden, 1978:153-154; Lobel y Dubois, 1973:20-24).

Línea recta:
zona más
significativa

Valor gamma

De estas tres regiones, la porción recta es la más significativa puesto que permite calcular los tiempos de exposición más adecuados para cada uno de los tres colores base. Señalar que esta región queda definida a partir de su pendiente, denominada valor gamma (γ) de la curva (siendo $\gamma = \tan \theta$). A su vez, el valor de gamma expresa el contraste de una determinada emulsión (Altman, 1977:502; Burden, 1978:172).

En las figuras III. 19-21 se recogen las curvas características de las emulsiones correspondientes a los tres colores base, amarillo, magenta y cian. Las densidades han sido determinadas mediante un densitómetro de color para transparencias de la casa Kodak, marca *Macbeth*. Las medidas han sido llevadas a cabo a través de una radiación monocromática de longitud de onda azul, verde y roja, respectivamente; los valores obtenidos corresponden a su vez, a la máxima absorción espectral de cada uno de los colores base (Arnold, Rolls y Stewart, 1974:27; Kowaliski, 1977:520-526).

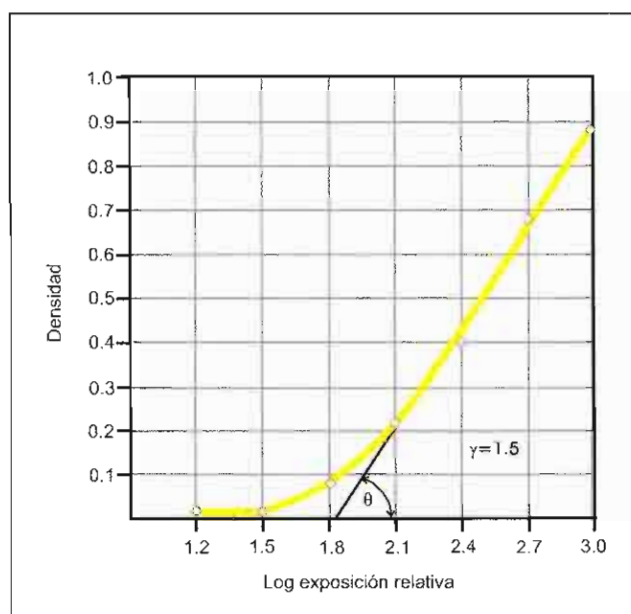


Fig. III.19. Curva característica correspondiente a la emulsión de color amarillo. Presenta el menor contraste de los tres colores base, con un valor gamma de 1,5.

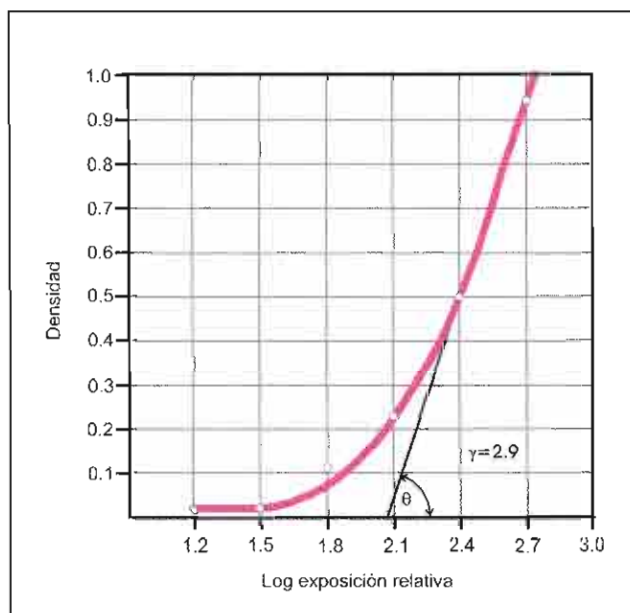


Fig. III.20. Curva característica correspondiente a la emulsión de color magenta. Presenta un valor gamma de 2,9.

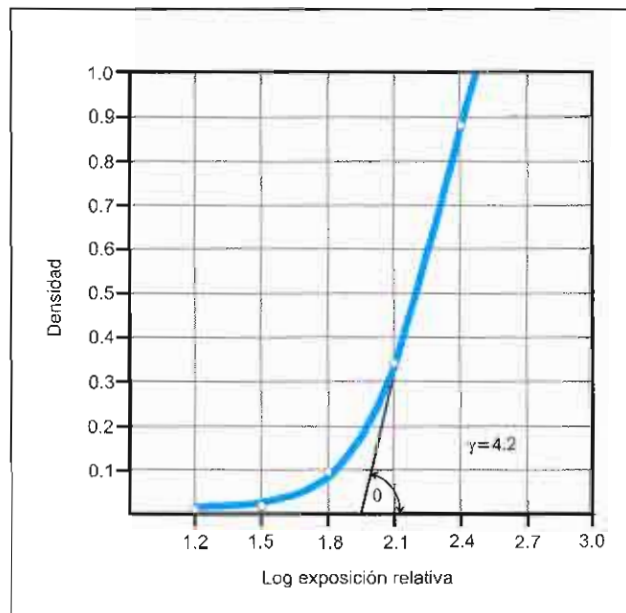


Fig. III.21. Curva característica correspondiente a la emulsión de color cian. Presenta el mayor contraste de los tres colores base, con un valor gamma de 4,2.

*Contraste de
la emulsión*

Estas curvas características han permitido determinar experimentalmente los valores gamma de cada una de las emulsiones coloreadas, siendo $\gamma = 1,5$ para la emulsión de color amarillo, $\gamma = 2,9$ para la emulsión de color magenta y $\gamma = 4,2$ para la emulsión de color cian.

*Equilibrio
neutral*

Como ya se ha señalado, el tiempo de exposición más adecuado para cada una de las emulsiones monocromas, será aquel que, aparte de permitir una reproducción fidedigna de la imagen de puntos del negativo tramado, haga posible que la superposición de los mismos de lugar a un gris neutro dentro de la escala de grises. Este último efecto descrito se logra cuando las tres emulsiones presentan la misma densidad, y por tanto, la absorción de las tres luces: azul, verde y roja, se produce en la misma proporción. Si esta condición no se cumple, lo cual ocurre generalmente, debido a las impurezas que los pigmentos disponibles presentan no existirá equilibrio exacto entre los tres colores amarillo, magenta y cian, y el gris obtenido de la superposición de las tres capas no será totalmente neutro.

La densidad de cada una de las emulsiones coloreadas se mide a partir de su correspondiente luz complementaria (Tabla III.4).

Tabla III.4.

<i>Color de emulsión</i>	<i>Examen con luz</i>
Cian	Roja
Magenta	Verde
Amarillo	Azul

La optimación de los respectivos tiempos de exposición, se establece en base a que, presenten una elevada densidad cuando la mediación se realiza a través de su filtro de color complementario, y una densidad prácticamente nula a través de los otros dos filtros.

*Medidas
densitométricas*

En este sentido, hay que destacar que, lo más importante e indicativo de la pureza del pigmento es que las densidades sean bajas, a través de los dos filtros correspondientes a los colores no complementarios de la emulsión, puesto que los valores de densidad correspondientes al filtro de color complementario, pueden ser intensificados aumentando la proporción de pigmento en la emulsión. Asimismo, la existencia de bajas densidades no deseadas a través de los filtros no complementarios, es debido a que el color contiene impurezas o trazas de otros colores (Glafkides, 1967:579; Yule, 1967:160).

En la tabla III.5 se recogen los valores de las densidades de las emulsiones coloreadas, medidas a través de los filtros de color azul, verde y rojo.

Tabla III.5. Medidas de densidad

<i>COLOR DE LA EMULSIÓN:</i>	<i>DENSIDAD CON FILTRO:</i>		
	ROJO	AZUL	VERDE
Magenta	0,07 (L)*	0,28 (M)	0,91(H)
Cian	1,10 (H)	0,10 (L)	0,32 (M)
Amarillo	0,05 (L)	0,78 (H)	0,10 (M)

*Valores
obtenidos*

* Las letras L, M y H, corresponden a las iniciales en inglés de las palabras *Low* (bajo), *Middle* (medio) y *High* (alto), respectivamente; expresan los valores de densidad dentro de cada color.

Estos valores permiten deducir que la emulsión de color amarillo es la que más se aproxima al color ideal¹⁶², ya que las dos densidades correspondientes a las medidas a través de los filtros rojo y verde, son próximas a cero. No ocurre así con la emulsión de color magenta, la cual tiene una cierta densidad a través del color azul, como si estuviese contaminada de color amarillo. Por último, la emulsión de color cian presenta una considerable densidad a través del color verde, como si estuviese contaminada de color magenta.

A partir de los datos densitométricos obtenidos, reflejados en la tabla III.5, se puede determinar cuatro características que determinan los colores utilizados amarillo, magenta y cian, para la reproducción del color.

Fuerza La primera característica de un color es la *fuerza*, es decir, su capacidad de reproducción. Ésta viene dada, en cada color por la densidad más alta (H) obtenida a través de su filtro de color complementario (Astrua, 1982: 146). Así, el color magenta tiene una fuerza de 0,91, el cian de 1,10 y el amarillo de 0,78. Conociendo la fuerza de estos colores, se puede saber previamente que la superposición, por ejemplo, de iguales porcentajes de punto del color cian de una fuerza de 1,10 al color amarillo de una fuerza de 0,78, resultará un verde más bien azulado, ya que en este caso el color cian es más fuerte que el amarillo.

Eficacia La segunda característica de un color es la *eficacia*, es decir, su capacidad de reflejar al máximo las radiaciones luminosas que debe reflejar, sin absorciones no deseadas.

Las figuras III.22, III.24 y III.26, muestran la curva de absorción espectral de cada uno de los tres colores base ideales, que poseen el

¹⁶² El término de color ideal se refiere a aquel color que tiene una densidad alta a través de un tercio del espectro visible, y una densidad de cero a través del rango de longitudes de onda absorbidas por los otros dos colores, de tal forma que no hay solape de las bandas de absorción.

máximo de eficacia. Se dice entonces que tienen una eficacia de uno o del 100%. Sin embargo, en los colores reales (Fig. III.23, III.25 y III.27), se producen absorciones indebidas, siendo determinada la eficacia de los mismos a partir de la fórmula (Astrua, 1982:146):

$$\% \text{ Eficacia} = 100 \left(1 - \frac{L + M}{2H} \right) \quad (\text{III.5})$$

donde l representa la eficacia máxima (100%) y $L+M/2H$ el porcentaje de absorción no deseada.

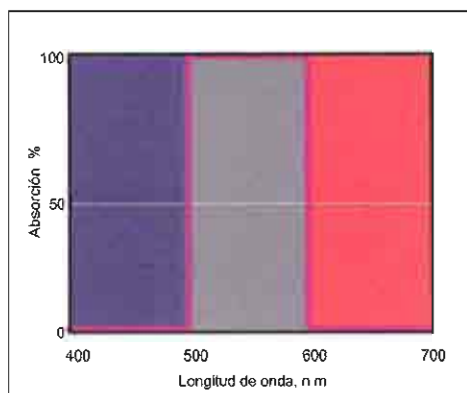


Fig. III.22. Curva de absorción espectral del color magenta ideal.

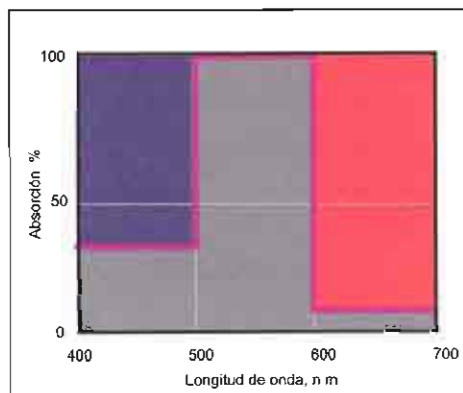


Fig. III.23. Curva de absorción espectral del color magenta utilizado en la elaboración de la emulsión.

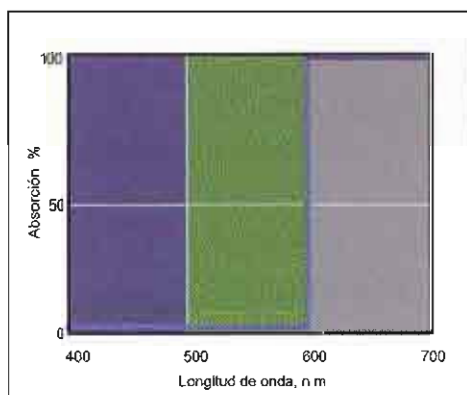


Fig. III. 24. Curva de absorción espectral del color cian ideal.

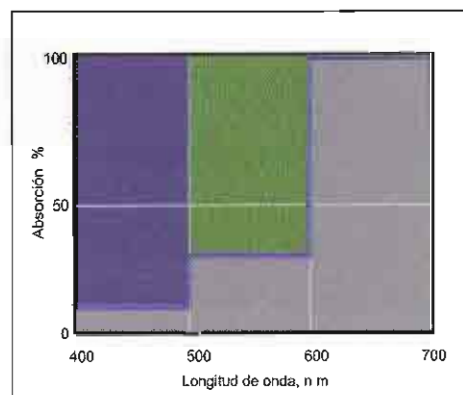


Fig. III. 25. Curva de absorción espectral del color cian utilizado en la elaboración de la emulsión.

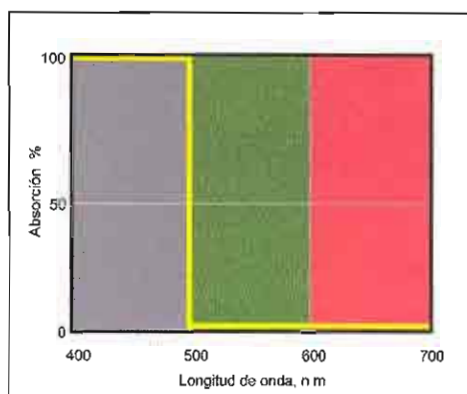


Fig. III.26. Curva de absorción espectral del color amarillo ideal.

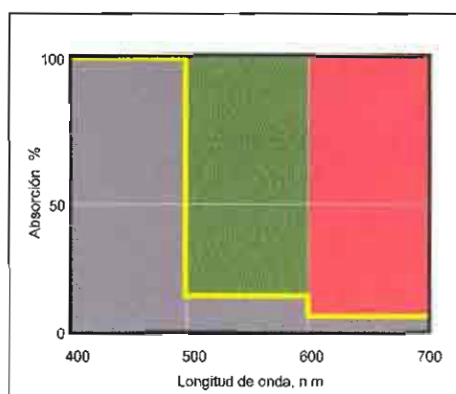


Fig. III.27. Curva de absorción espectral del color amarillo utilizado en la elaboración de la emulsión.

Así, los colores utilizados, según la ecuación III.5, tendrán las eficacias siguientes:

$$\% \text{ Eficacia color magenta} = 100 \left(1 - \frac{0,07 + 0,28}{2 \times 0,91} \right) = 81\%$$

$$\% \text{ Eficacia color cian} = 100 \left(1 - \frac{0,10 + 0,32}{2 \times 1,10} \right) = 81\%$$

$$\% \text{ Eficacia color amarillo} = 100 \left(1 - \frac{0,05 + 0,10}{2 \times 0,78} \right) = 90\%$$

Error de tono

La tercera característica es el *error de tono*, es decir, el defecto que se deriva de una reflexión no equilibrada de los colores que deben ser reflejados en igual medida.

La curva de absorción espectral de los colores base ideales (Figs. III.22, III.24 y III.26) tienen un error de tono cero, sin embargo, los

colores reales utilizados (Fig. III.23, III.25 y III.27), presentan un cierto error de tono, que viene dado por la fórmula (Astrua, 1982:147; Clapper, 1977:573; Reed, 1960:123-124; Yule, 1967:161):

$$\% \text{ Error de tono} = 100 \frac{M - L}{H - L} \quad (\text{III.6})$$

Según esta fórmula, los colores utilizados tendrán los errores de tono siguientes:

$$\% \text{ Error de tono color magenta} = 100 \frac{0,28 - 0,07}{0,91 - 0,07} = 25\%$$

$$\% \text{ Error de tono color cian} = 100 \frac{0,32 - 0,10}{1,10 - 0,10} = 22\%$$

$$\% \text{ Error de tono color amarillo} = 100 \frac{0,10 - 0,05}{0,78 - 0,05} = 6,8\%$$

Por último, la cuarta característica de un color, es el *error de gris* o *de pureza*, es decir, el porcentaje de gris contenido en el color. Viene expresado por la fórmula (Astrua, 1982:147; Clapper, 1977:573; Reed, 1960:123-124; Yule, 1967:161):

Error de gris

$$\% \text{ Error de gris} = 100 \frac{L}{H} \quad (\text{III.7})$$

De acuerdo a los valores densitométricos de la tabla III.5, los colores base utilizados tendrán los errores de tono siguientes:

$$\% \text{ Error de gris de color magenta} = 100 \frac{0,07}{0,91} = 7,7\%$$

$$\% \text{ Error de gris de color cian} = 100 \frac{0,10}{1,10} = 9,1\%$$

$$\% \text{ Error de gris de color amarillo} = 100 \frac{0,05}{0,78} = 6,4\%$$

Error de tono
y error de gris

La representación gráfica de los porcentaje de error de tono y de gris de cada uno de los tres colores utilizados, respecto a los colores ideales, se muestra en la figura III.28.

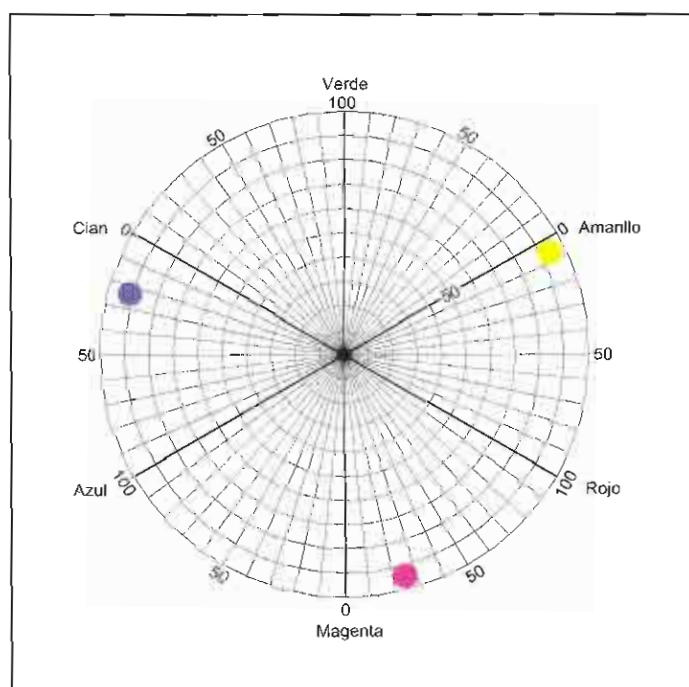


Fig. III.28. *Error de tono:* a partir de las densidades obtenidas, se sitúa el punto representativo del color sobre el radio correspondiente a su porcentaje y en la dirección del color respecto al que cuenta mayor contaminación (amarillo, magenta o cian); así se aprecia que el mayor error de tono corresponde a los colores magenta y cian, siendo muy inferior en el amarillo. *Error de gris o de pureza:* viene representado por el desplazamiento del punto representativo del color hacia el centro del círculo, y situándolo en la circunferencia correspondiente a su porcentaje; en este caso, el color cian tiene un error ligeramente superior a los otros dos colores.

Después de la exposición de la emulsión en las condiciones de tiempo más adecuadas, no es posible apreciar ninguna reacción visible sobre la superficie de la emulsión, salvo un leve oscurecimiento de las zonas expuestas que corresponden a la imagen latente. Será necesario proceder a la acción del revelado para que queden patentes las áreas de imagen¹⁶³.

Imagen latente

III.1.3.2.- Procesado

Bajo el término de procesado, se incluyen los tratamientos a los que es sometido el material fotosensible tras su exposición a la luz. Estos tratamientos son el revelado y la posterior preparación de la película para su transferencia.

Definición

El proceso de revelado permite obtener una imagen positiva de puntos, cuyas características estarán determinadas por las del negativo tramado utilizado durante la exposición. A su vez, la etapa posterior de preparación de la película hace posible su transferencia y, de esta manera, su aplicación como método de reintegración.

El adecuado desarrollo de estos tratamientos, está sujeto a una serie de variables que deben ser previamente establecidas, con el fin de obtener resultados óptimos y repetitivos.

III.1.3.2.1.- Revelado

La luz provoca una serie de transformaciones en las emulsiones fotosensibles, responsables de su insolubilización. Como consecuencia del montaje de la emulsión con el negativo tramado, sobre ésta quedarán áreas expuestas a la acción de la luz, y por tanto insolubilizadas, y otras

Función

¹⁶³ Zonas de imagen son aquellas que han sido expuestas la luz actínica, y zonas de no imagen las que no han sido expuestas.

no expuestas que conservarán su solubilidad inicial; el proceso de revelado tiene la finalidad de eliminar estas últimas.

Inicio del revelado Según recomienda Nadeau (1989:17,19) es conveniente proceder a revelar la emulsión una vez concluida la exposición¹⁶⁴, ya que la transformación del producto sensible también continúa en la oscuridad, y este efecto se hace más acusado cuando la emulsión está seca.

Agua En base a las propiedades de solubilidad de la gelatina¹⁶⁵ y del comportamiento de los coloides dicromatados como material fotosensible, se puede considerar que, en este caso, el tipo de revelador más adecuado es el agua.

Materiales El material necesario para llevar a cabo el proceso de revelado es muy simple: cubeta de plástico, termómetro y pinzas.

Proceso Se procede vertiendo en la cubeta una cantidad de agua suficiente para cubrir con holgura el soporte emulsionado; la temperatura del baño revelador debe ser de 45° C. A continuación, se saca la película de la cámara de exposición o del contenedor donde hubiese sido guardada para protegerla de la luz y se introduce, con la cara de la emulsión hacia arriba, en la solución de revelado durante diez minutos. Durante este tiempo se mantiene una agitación constante, mediante una oscilación homogénea de la cubeta de revelado. En el transcurso del revelado no deberá tocarse la emulsión con los dedos o con cualquier otro objeto, ya que la imagen formada puede ser arrastrada; por esta misma razón, no podrá haber más de un soporte emulsionado en la misma cubeta de revelado.

Según se desarrolla el proceso, el revelador se torna de un determinado color de acuerdo a la coloración de la emulsión tratada.

¹⁶⁴ Como máximo de 10 a 15 minutos después de terminado el proceso de exposición.

¹⁶⁵ Véase cap. III, ap. III.1.1.1.1. *Coloide*, pág. 199.

Las variables que van a determinar el adecuado desarrollo del proceso son:

Variables de revelado

- a) *Tiempo de revelado.* El revelador debe disolver todas las zonas de la emulsión no expuestas a la luz. Los ensayos realizados han permitido determinar que el tiempo mínimo necesario es de diez minutos. Si este valor es inferior, no se produce la solubilización total de las áreas no expuestas (solubles), por lo que aparece una imagen general con un velo. Si, por el contrario, el tiempo fuera superior, la imagen no sufre una alteración apreciable, si bien es aconsejable controlar su valor mediante un cronómetro.
- b) *Temperatura.* Una temperatura elevada del revelador provoca que su acción sea más intensa y, por lo tanto, se requiera un tiempo de tratamiento menor. Por el contrario, si la temperatura es inferior a la recomendada, el revelador actúa tan lentamente que incluso no llega a obtenerse la imagen deseada, ya que las áreas de emulsión no expuestas no llegan a solubilizarse. Teniendo en cuenta que la base de las películas es gelatina, la temperatura óptima de revelado se sitúa en torno a 45° C.
- c) *Revelador.* La utilización de agua permite la obtención de resultados óptimos. La operación de revelar es muy importante y delicada ya que, además de eliminar completamente todo el producto sensible no impresionado por la luz (soluble), no debe disolver en lo más mínimo la parte impresionada (insolubilizada).

Es conveniente especificar que la emulsión fotosensible ha sido parcialmente insolubilizada por la acción de la luz, y en consecuencia conserva cierta capacidad de hincharse en el agua.

- d) *Agitación del baño.* Si el agua utilizada para efectuar el revelado se encuentra totalmente estática en la cubeta, únicamente las moléculas del líquido que se encuentran en contacto directo con la emulsión llevarán a cabo su acción sobre la misma, llegando a saturarse. Por esta razón, se recomienda agitar suavemente la cubeta de revelado durante la operación; de esta manera, continuamente variará el revelador que entra en contacto con la emulsión y se favorecerá su acción disolvente.
- e) *Agotamiento del revelador.* Como consecuencia del revelado de una emulsión, el revelador contendrá una cierta cantidad de gelatina, que disminuirá el poder disolvente del primero; es decir, a medida que el revelador ejerce su función, su acción se va debilitando. Por tanto, tras cada operación de revelado es conveniente reemplazar el líquido revelador.

*Sistematización
del proceso*

Para obtener unos resultados uniformes y fiables el trabajo debe estar sistematizado de una forma precisa; si se procede manualmente, preferiblemente las mismas personas deben realizar siempre las mismas operaciones. Asimismo, cuantos mayores dispositivos mecánicos y automáticos se utilicen, más uniformes serán los resultados.

Para conseguir una máxima permanencia de la imagen tras el revelado, el exceso de dicromato que pueda quedar en la emulsión es eliminado. Para ello, el FTT se trata con un baño de bisulfito sódico o potásico preparado a una concentración de un 2 - 5% (Nadeau, 1986:22; Zelich, 1995:74).

Lavado

Por último, se procede al lavado final del FTT en un baño de agua fría, entre 18 - 20° C, durante aproximadamente 15 minutos y con agitación continua. Durante este tiempo las áreas de imagen de las zonas que han sido expuestas se endurecen, facilitando su manejo posterior.

III.1.3.2.2.- Preparación para la transferencia

Esta etapa tiene por finalidad la adecuada preparación del FTT, de manera que la imagen formada de puntos de color pueda ser transferida posteriormente.

Para ello, en primer lugar se trata con una solución enzimática de papaina al 0,6% en agua; esta disolución se dispone en una cubeta, y se mantiene a la temperatura de 50° C. El FTT se introduce con la emulsión hacia arriba, y se deja por espacio de 60 minutos. Este baño provoca una hidrólisis parcial de las cadenas de gelatina, que facilita la transferencia posterior de la imagen. Señalar que sin este tratamiento inicial, las fuerzas intra e inter moleculares de las cadenas de proteína impedirían el desarrollo de la transferencia.

Hidrólisis de la gelatina

Concluido este proceso, se lava en agua corriente por espacio de diez minutos y a continuación, se seca; con el fin de mantener la estabilidad dimensional de la película, conviene realizar el secado con circulación de aire frío.

Lavado

Secado

Para eliminar la humedad de la película hay que considerar dos factores relacionados con las condiciones ambientales, estos son la temperatura y la humedad relativa. La primera debe ser alrededor de 40° C, de manera que se acelere el proceso de evaporación, y la humedad relativa baja (40 - 50%). Existen cabinas especiales para realizar el secado, en las cuales se puede regular ambas variables.

El sistema de secado utilizado en este caso, consiste en colocar la película sobre un soporte rígido liso y adherida por los cuatro bordes, con la cara de la emulsión hacia el exterior. El soporte se sitúa en posición vertical, de esta forma, la humedad se decanta en una dirección y no hay áreas con notables diferencias en su contenido higrométrico. En la posición indicada se deja secar espontáneamente o bien se acelera el proceso mediante ventilación.

*Preparación
final*

Una vez seco el FTT, sobre la superficie de la imagen se aplica una solución de goma arábica líquida al 20% a la que se añade un 2% de glicerina. Este proceso puede realizarse con un pincel de pelo muy suave o bien por pulverización. Posteriormente, y con el mismo tipo de procedimiento anterior, se da una capa de cera microcristalina¹⁶⁶ disuelta en xileno al 50% y en caliente.

Archivo

Los FTT así elaborados son guardados en un archivador, hasta su uso en el proceso de reintegración. En este archivador, los FTT estarán separados por láminas de papel parafinado, con el fin de impedir que se pueda producir un despelucado de la imagen de forma involuntaria.

III.2.- TABLAS CROMÁTICAS

La reproducción del color requiere una combinación precisa de puntos coloreados con cada uno de los tres colores base, y en diferentes porcentajes de punto. De esta forma, es posible obtener una amplia variedad de colores, cada uno de los cuales puede ser especificado colorimetricamente (Astrua, 1982:235-257; Küppers, 1994:21-119; Rogondino, 1990; Wright, 1969:176).

*Representación
gráfica*

Las tablas cromáticas constituyen la representación gráfica de las posibles combinaciones de color de los FTT¹⁶⁷. Esta representación recoge una amplia gama de colores y permite establecer una relación directa con el color a reproducir, de manera que este último puede ser caracterizado, a partir de los colores base (amarillo, magenta y cian) y sus correspondientes porcentajes de punto (Wright, 1969:173, 177).

Función

¹⁶⁶ La cera microcristalina utilizada es de la marca *Cosmolloid*, fabricada por Astor Boissellier and Lawrence, 9 Savoy Street, London W.C.2 (Inglaterra). Ensayos realizados con otro tipo de ceras, concretamente polietilenglicolicas (PEG), han dado lugar a resultados negativos en el desarrollo de la transferencia de la imagen de los FTT.

¹⁶⁷ Cuando el incremento de porcentaje de punto de los tres colores base es del 10%, el número total de FTT es de 27 (9 para el color amarillo, 9 para el color magenta y 9 para el color cian).

De acuerdo al sistema de especificación del color basado en un sólido geométrico, concretamente un hexaedro o cubo, cada tabla cromática correspondería a cada uno de los planos paralelos en que se secciona horizontalmente el sólido¹⁶⁸ (Fig. III.29). Cada una de estas tablas cromáticas debe presentar una distribución sistemática y un espaciado regular de los colores (Wright, 1969:178).

*Planos
paralelos del
sólido: hexae-
dro o cubo*

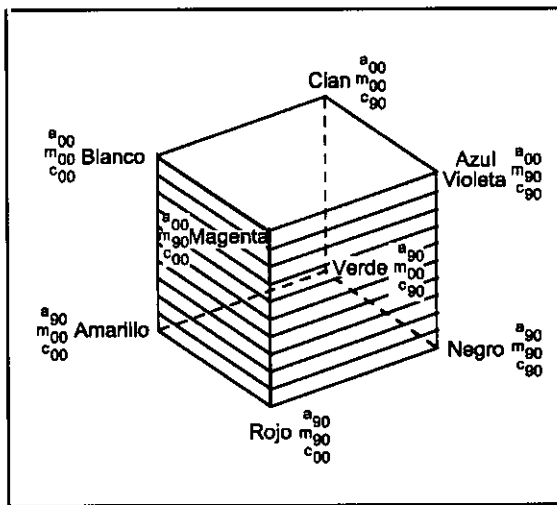


Fig. III.29. Expresión cuantitativa sobre un hexaedro o cubo de la composición cromática en base a los tres colores amarillo, magenta y cian, cuya variación de porcentaje de punto a lo largo de las aristas permite especificar cada color.

Estas tablas cromáticas se obtienen a partir de los FTT previamente elaborados con los negativos tramados esencialmente preparados para esta finalidad¹⁶⁹ (Figs. III.8-10). Los FTT así obtenidos presentan una imagen positiva de cada uno de los tres colores base y con los diferentes porcentajes de punto. En las figuras III.30-35 se muestran diferentes FTT.

¹⁶⁸ Véase cap. II, ap. II.1.2.3.1. *Cubo de Hickethier*, pág. 111.

¹⁶⁹ Véase cap. III, ap. III.1.2. *Negativos tramados*, págs. 225-227.

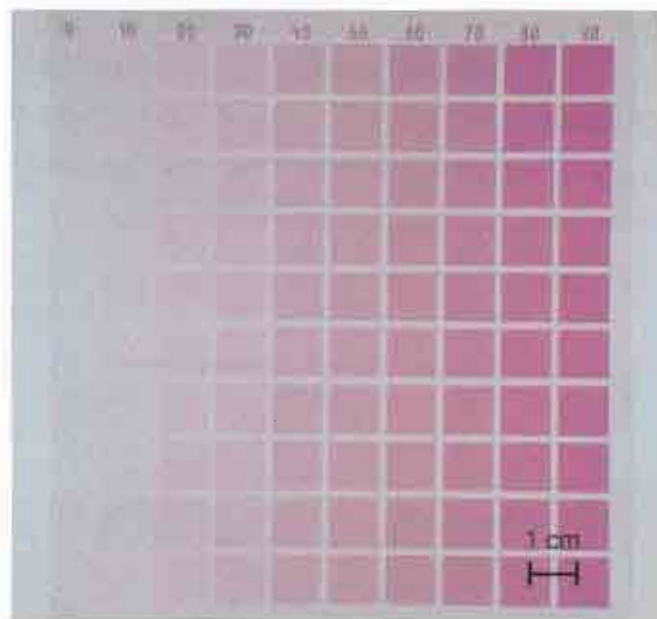


Fig. III.30. FTT para la elaboración de las tablas cromáticas correspondiente al color magenta, en el que cada columna presenta un mismo porcentaje de punto, que aumenta de izquierda a derecha.

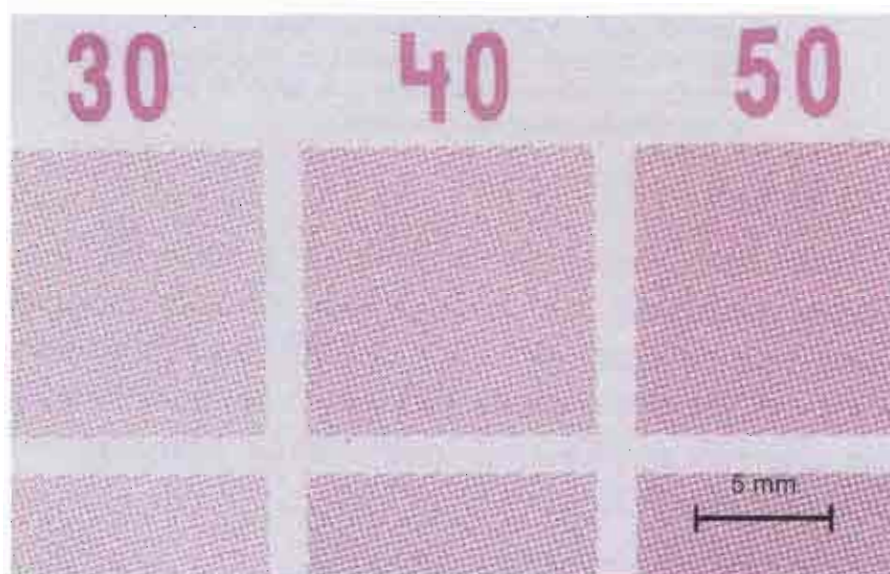


Fig. III.31. Detalle ampliado (x 3,5) de la figura III.30, correspondiente al FTT de color magenta; presenta una inclinación de 15° y una lineatura de 39 l/cm.

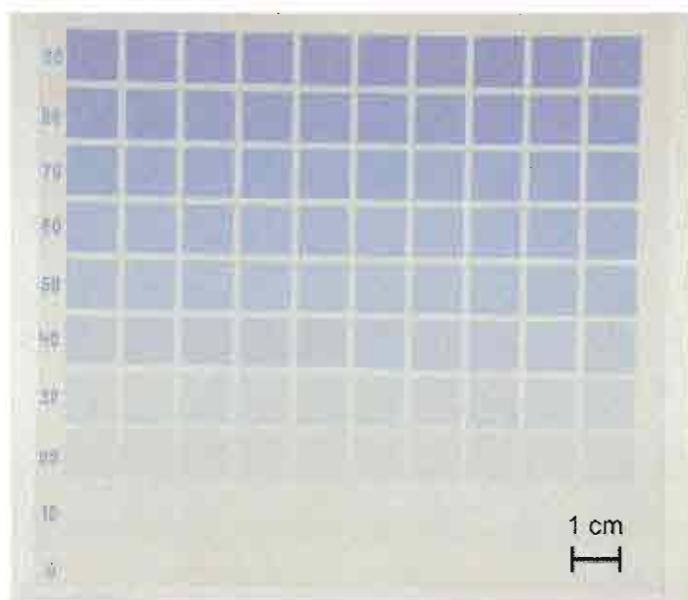


Fig. III.32. FTT para la elaboración de las tablas cromáticas correspondiente al color cian, en el que cada fila presenta un mismo porcentaje de punto, que aumenta de abajo-arriba.

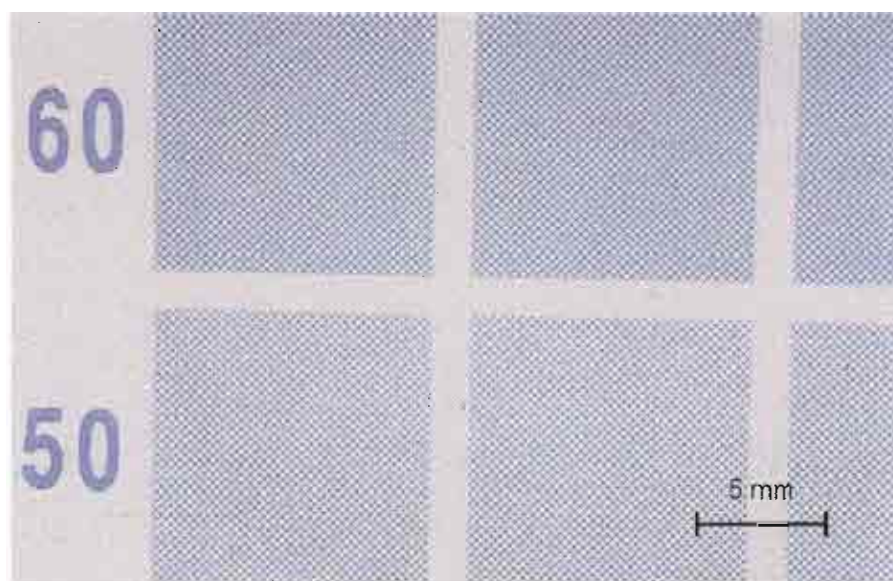


Fig. III.33. Detalle ampliado (x 3,5) de la figura III.32, correspondiente al FTT de color cian; presenta una inclinación de 45° y una lineatura de 39 l/cm.

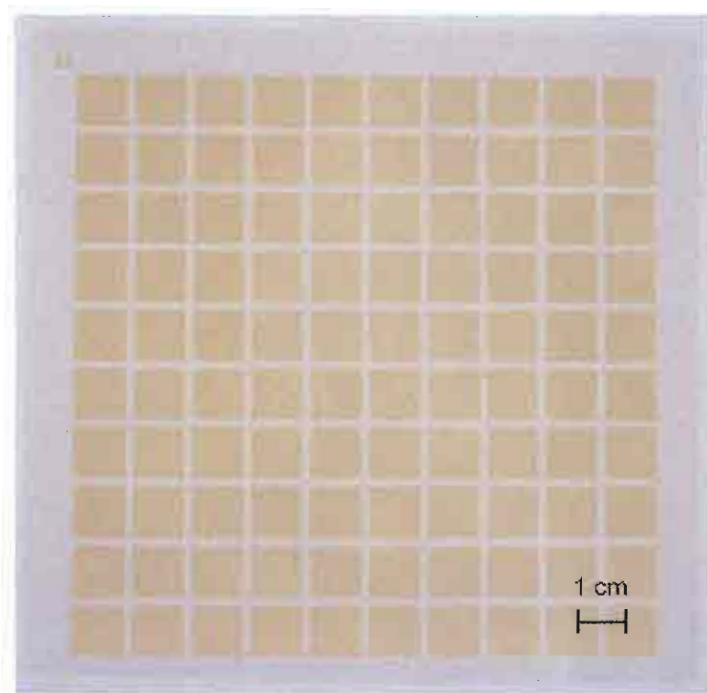


Fig. III.34. FTT para la elaboración de las tablas cromáticas correspondiente al color amarillo, en el que todas las filas y columnas presentan un mismo porcentaje de punto; en este caso concreto del 60%.

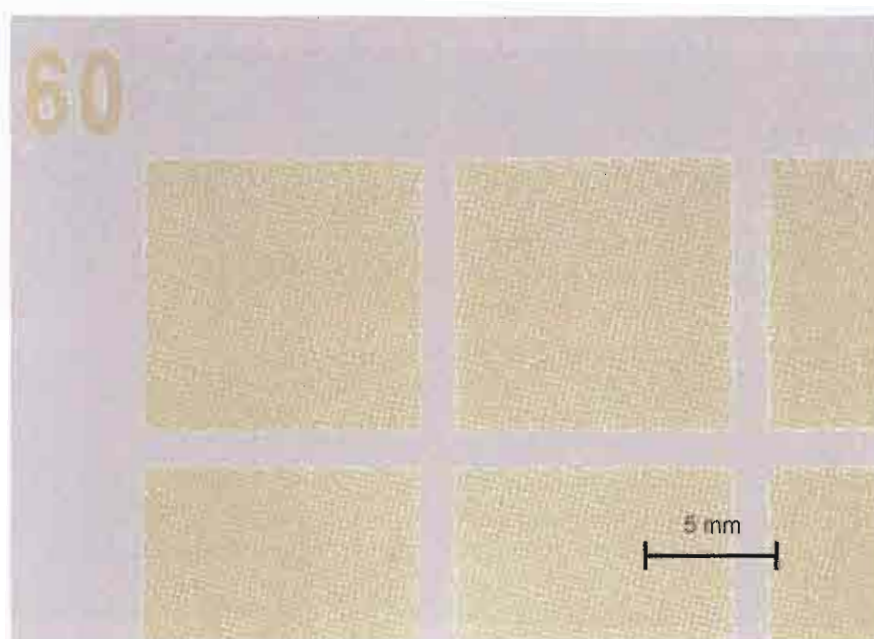


Fig. III.35. Detalle ampliado (x 3,5) de la figura III.34, correspondiente al FTT de color amarillo; presenta una inclinación de 75° y una lineatura de 39 l/cm.

Para la elaboración de estas tablas, los FTT son transferidos sobre un soporte de iguales o similares características que el de las obras donde se va a efectuar el proceso de reintegración.

*Soportes de la
tablas
cromáticas*

A su vez, estos soportes se preparan a partir de un soporte rígido, como puede ser un metacrilato, lámina de madera, policarbonato, cristal, etc. En este caso concreto, se han utilizado láminas de policarbonato de un formato de 16 x 16 cm y de un grosor de 3 mm. Sobre estas láminas, previamente lijadas para favorecer la adherencia, se han aplicado manualmente, con pincel, varias capas de estuco del preparado convencionalmente para realizar el estucado de las lagunas¹⁷⁰. Una vez obtenido un estrato totalmente opaco de estuco, se realiza un lijado superficial con ayuda de una lija metalográfica¹⁷¹ de grano fino 600, con el fin de obtener una superficie lisa y uniforme (Fig. III.36).

*Preparación
del soporte*

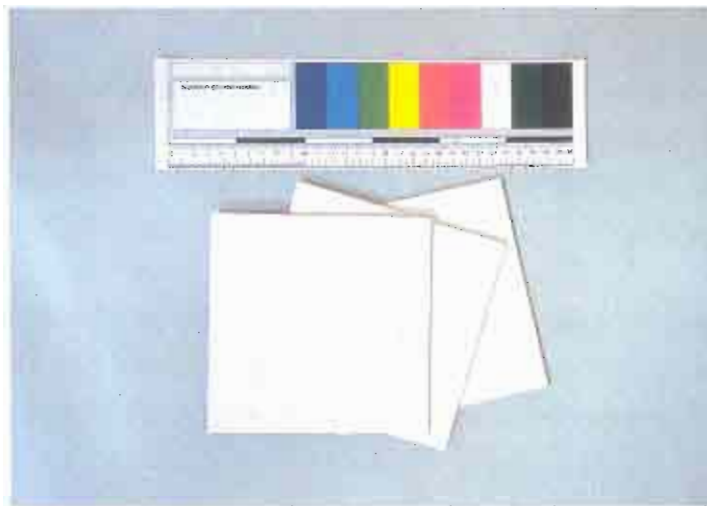


Fig. III.36. Varios de los soportes estucados utilizados en la elaboración de las tablas cromáticas.

¹⁷⁰ El estuco utilizado está compuesto por: cola de conejo (50 gr), agua (500 ml), sulfato cálcico (c.s.), miel de caña y fenol.

¹⁷¹ Lija metalográfica: Silicon Carbide Waterproof Paper, 600.

A continuación, se elimina con un pincel el polvo producido por la operación de desestucado y se procede a aplicar una fina capa de barniz de retoques, emulando el proceso que se sigue en la restauración de las lagunas de una obra antes de proceder a su reintegración. Para tal finalidad se ha utilizado barniz de la marca comercial francesa *Lefranc & Bourgeois*, núm. de ref. 1253, aplicado con pincel sobre el soporte desestucado.

*Otras
posibilidades*

Existe la posibilidad de preparar los soportes con texturas o aparejos diferentes, de tal forma que puedan cubrir las necesidades planteadas por determinadas obras a reintegrar; así, por ejemplo, se pueden preparar soportes en los que quede patente la estructura de la tela sobre la que se ha aplicado el estuco.

De la forma descrita, el soporte estucado estará preparado para poder realizar sobre el mismo, la transferencia de los FTT correspondientes, y obtener las tablas cromáticas.

*Amplitud de
las gamas de
colores*

Las posibles combinaciones de los distintos porcentajes de punto (0 - 90% en incrementos de 10%) de los FTT en cada uno de los tres colores base, amarillo, magenta y cian, da lugar a una gama de 1.000 colores diferentes¹⁷².

*Distribución
de las tablas*

Los soportes estucados de las dimensiones citadas de 16 x 16 cm, permiten situar en cada uno de ellos 100 colores, por lo que serán necesarios diez soportes estucados para mostrar toda la gama de colores posibles.

*Orden de
transferencia
de los FTT*

La transferencia de los FTT sobre los soportes estucados se hace en un orden determinado¹⁷³: primero el color base amarillo, después el color magenta y por último el color cian.

¹⁷² Si los intervalos de los porcentajes de punto fuesen del 5%, la gama cromática sería de 8.000 colores.

¹⁷³ El orden estratigráfico de colocación responde a las deficiencias que presentan los colores utilizados, concretamente, a su mayor o menor grado de transparencia; así, se coloca en primer lugar el color que tiene una menor transparencia (amarillo) y en último lugar el que presenta una mayor transparencia (cian).

El procedimiento seguido para efectuar la transferencia es el siguiente: en primer lugar, se coloca el FTT correspondiente al color amarillo, con la cara de la imagen de puntos en contacto con el soporte estucado y se fija de forma temporal por uno de sus márgenes, con el fin de evitar posibles desplazamientos involuntarios durante el proceso de transferencia. Por el reverso del FTT se ejerce una ligera presión con un útil de punta roma, como puede ser un bruñidor de punta de ágata utilizado en el proceso de dorado; de esta manera se consigue la transferencia de la imagen de puntos allí donde se haya ejercido presión.

Transferencia

De la forma descrita se habrá transferido el primer color, el amarillo; los FTT de los otros dos colores, magenta y cian, se transferirán del mismo modo (Figs. III.37-38).

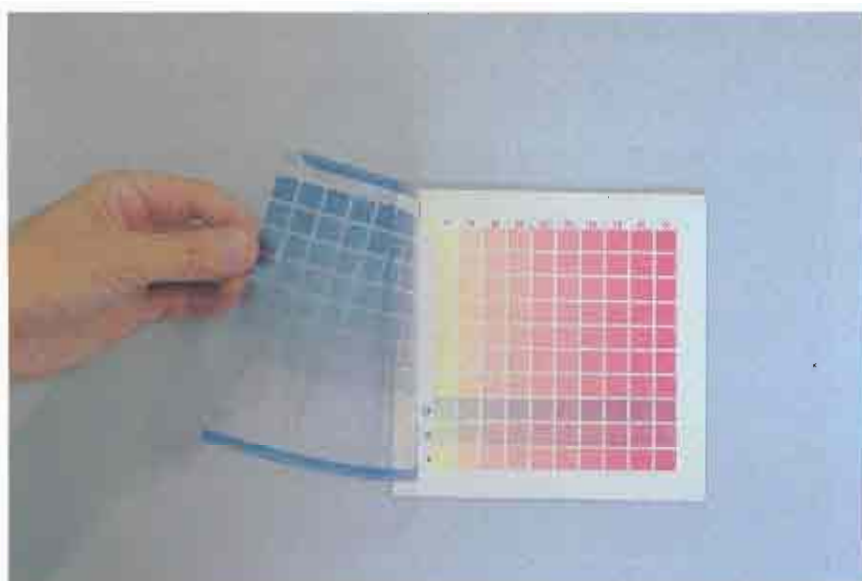


Fig. III.37. Transferencia parcial del color cian sobre los colores amarillo y magenta, anteriormente transferidos.

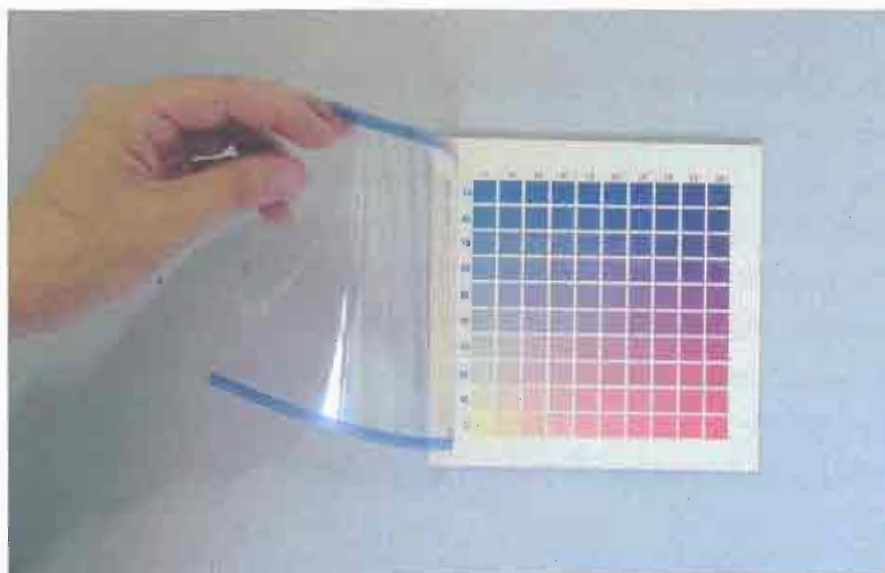


Fig. III.38. Transferencia completa de los tres colores amarillo, magenta y cian, dando lugar a un fragmento, de los diez que forman las tablas cromáticas.

*Conjunto de
las tablas
cromáticas*

Esta operación se realizará sobre cada uno de los diez soportes estucados. De esta forma se obtendrán diez tablas cromáticas de cien colores, lo que supone un total de 1.000 colores diferentes (Figs. III.39-41).

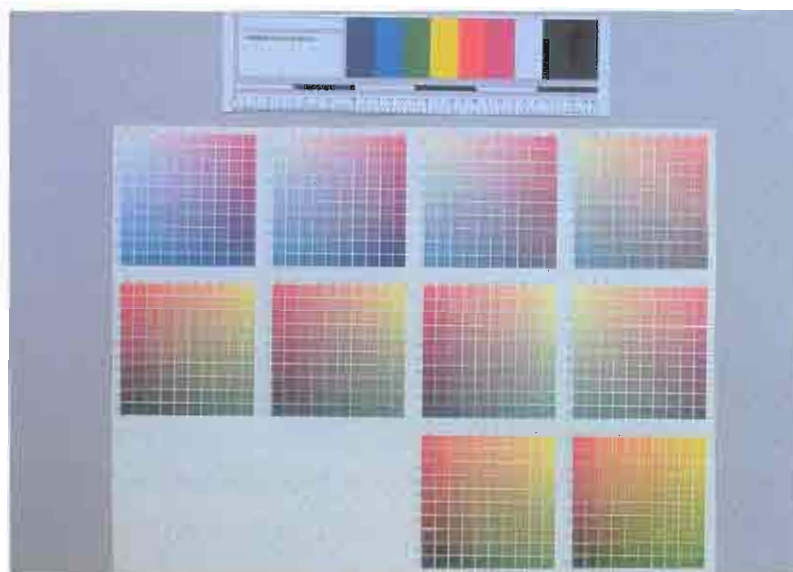


Fig. III.39. Conjunto global de la tabla cromática, compuesta de diez fragmentos de cien colores cada uno, formando un total de 1.000 colores diferentes.

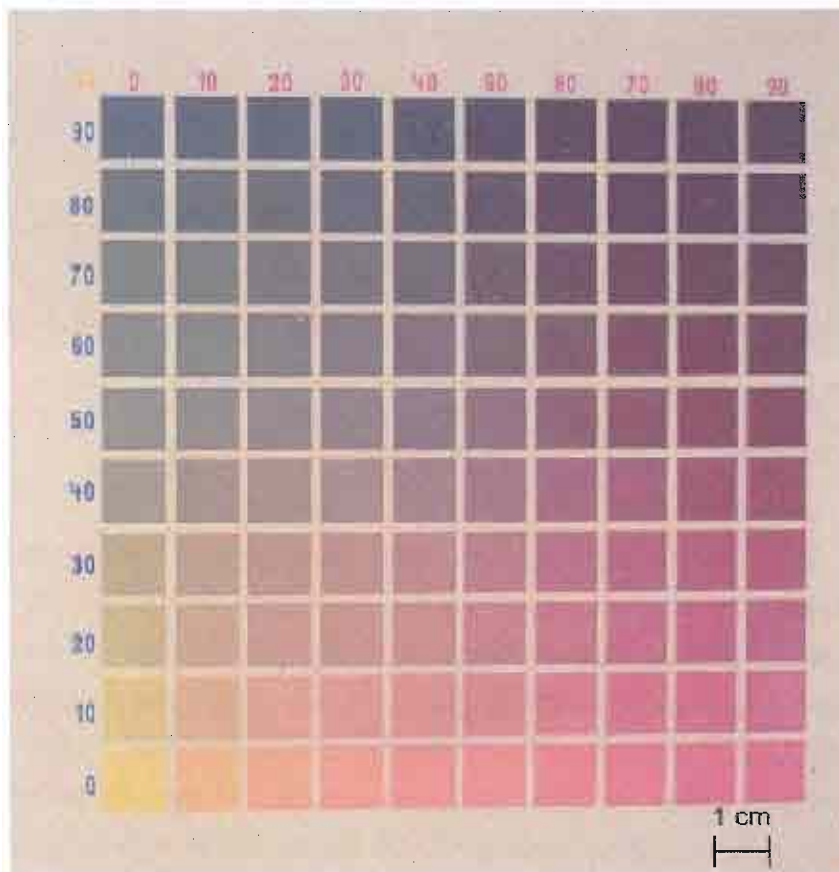


Fig. III.40. Fragmento de la tabla de colores en el que todos los colores presentan un mismo porcentaje de punto del color amarillo (50%). Al igual que en las restantes tablas, la lineatura es de 39 l/cm y los incrementos de porcentaje de punto (magenta y cian) del 10%.

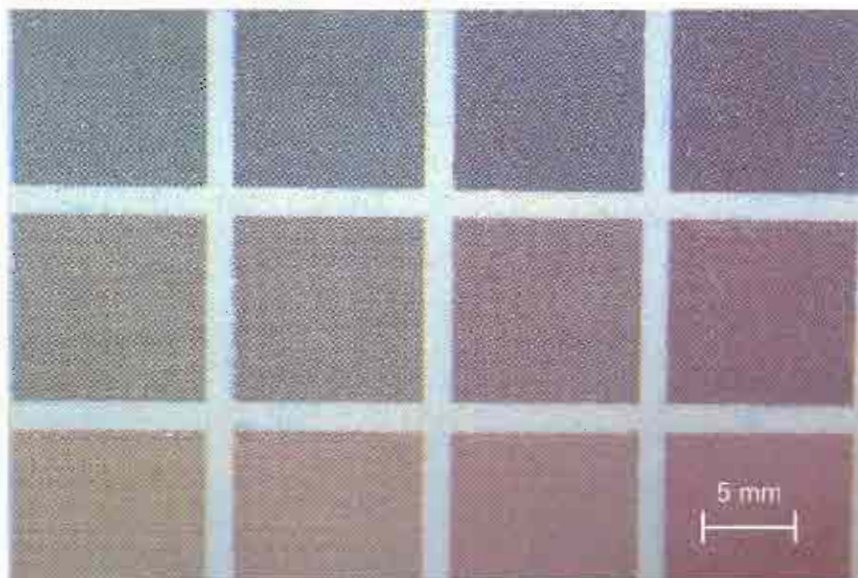


Fig. III.41. Detalle ampliado (x 2) de la imagen anterior (Fig. III.40), en el que se muestra la disposición que adoptan los puntos de los tres colores base para formar cada uno de los colores globales.

Las tablas cromáticas, así preparadas, presentarán unas características determinadas, según se haya preparado el soporte (texturas, estucado, desestucado), y en función del tipo de barniz final que se aplique a las mismas, ya sea mate, brillante o semimate. La posibilidad de realizar tablas cromáticas que abarquen estos aspectos permitirá disponer de un mayor número de patrones de referencia en relación a las distintas características de las obras sobre las que haya que efectuar el proceso de reintegración.

*Patrón de
referencia*

Como ya se ha mencionado, las tablas cromáticas son utilizadas en el proceso de reintegración como patrón de referencia para realizar el análisis del color a reintegrar (Roja, 1999). El proceso operativo para realizar este análisis se describe en el capítulo siguiente.

*Lectura de las
tablas
cromáticas*

Para identificar un determinado tono contenido en las tablas cromáticas se toma como referencia las cifras anotadas en los márgenes; las cuales, a su vez, indican los porcentajes de punto de cada uno de los tres colores que lo componen.

Cada una de las diez tablas cromáticas presenta un mismo porcentaje de color amarillo, el cual varía de unas a otras dentro del intervalo del 0 al 90%; para cada tabla¹⁷⁴, este valor de porcentaje está indicado en el ángulo superior izquierdo. Las diez columnas verticales de cada tabla corresponden a los porcentajes de punto del color magenta que, a su vez, varían de izquierda a derecha desde un 0 a un 90%; su valor se indica en la parte superior de cada columna. Y por último, el color cian se corresponde con las diez filas horizontales, cada una de ellas con un determinado porcentaje de punto, que varía de abajo arriba, de un 0 a un 90% y cuyos valores se indican en el margen izquierdo de la tabla (Fig.III.42).

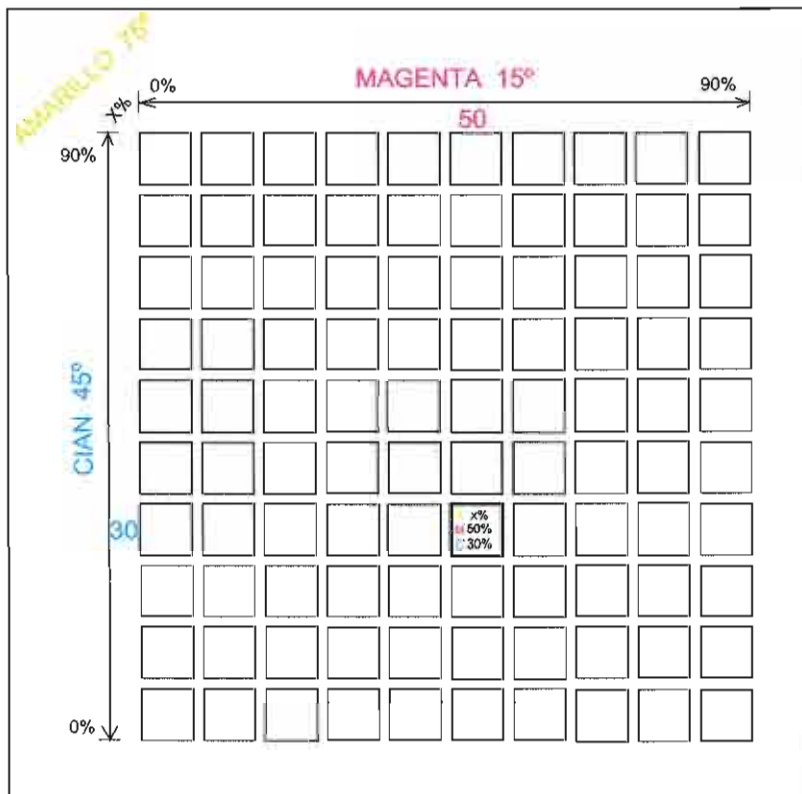


Fig. III.42. Distribución que adoptan en cada uno de los fragmentos que constituyen las tablas cromáticas los porcentajes de punto de cada uno de los tres colores base: amarillo, magenta y cian con sus respectivas inclinaciones.

¹⁷⁴ Recordar que en las tablas cromáticas preparadas, las variaciones de porcentaje de punto es del 10%.

De esta forma se consigue que cualquier tono situado en las tablas cromáticas pueda ser identificado por los porcentajes de cada uno de los tres colores base que lo componen y, por lo tanto, pueda ser reproducido, utilizando los tres colores base con esos mismos porcentajes de punto (Fig. III.43).

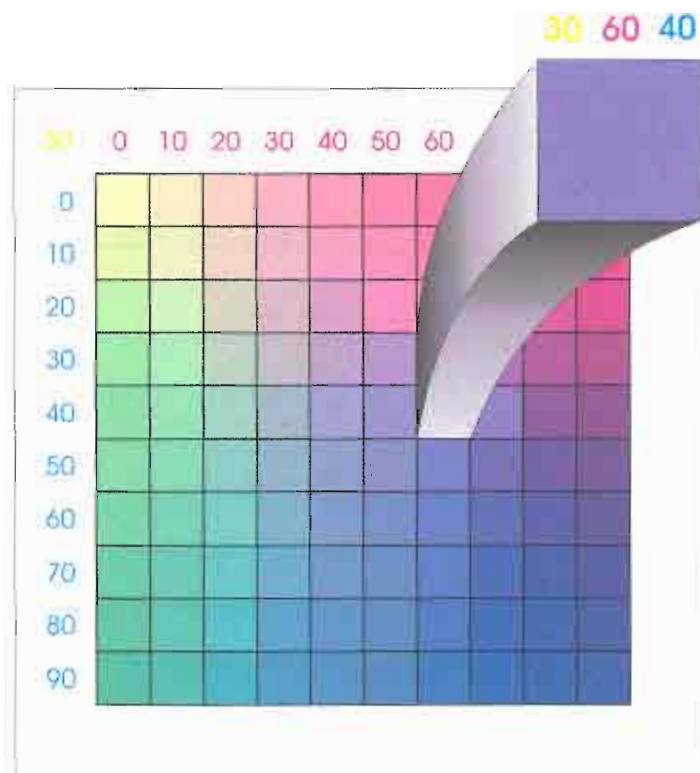


Fig. III.43. Identificación de un color concreto dentro de la tabla cromática, especificado en los porcentajes de punto de cada uno de los tres colores base que lo forman.

*Elaboración
acorde a las
necesidades*

Correspondería al restaurador la labor de preparar los soportes adecuados a sus necesidades y, sobre éstos, proceder a la transferencia de los FTT previamente adquiridos. Las tablas cromáticas así preparadas serán válidas para todas las obras cuya superficie del área a reintegrar presente unas características semejantes al de las tablas preparadas.

Pueden realizarse tablas cromáticas con FTT de diferentes lineaturas, de acuerdo al formato o características de la obra a reintegrar. En el desarrollo de este trabajo se han utilizado FTT de una lineatura de 39 l/cm, al considerar que este valor es suficientemente elevado como para cubrir un amplio abanico de posibilidades en relación a los formatos de las obras.

Las tablas cromáticas se almacenan en un archivador de fácil manejo, tal como una carpeta de anillas. Señalar que a la hora de efectuar las manipulaciones oportunas habrá que tener en cuenta la fragilidad de las capas de estuco y, en consecuencia, tomar las precauciones oportunas para conservar la integridad de las tablas cromáticas.

Archivo

IV. PROCESO DE REINTEGRACIÓN. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Sumario: IV.1.- Análisis del color a reintegrar. IV.1.1.- Análisis comparativo visual. IV.1.2.- Análisis comparativo colorimétrico. IV.1.3.- Valoración porcentual tricromática del color analizado. IV.2.- Síntesis del color a reintegrar. IV.2.1.- Procedimiento operativo. IV.2.2.- Consideraciones técnicas.

IV

Proceso de reintegración. Metodología de trabajo

Como es bien sabido, antes de llevar a cabo el proceso de reintegración es necesaria la adecuada preparación de la superficie. Para ello, las lagunas previamente estucadas, tienen que ser convenientemente desestucadas; asimismo, sobre la totalidad de la superficie pictórica, y a modo de capa de intervención, se debe aplicar un barniz de retoques.

*Inicio del
proceso*

La capa de estuco aplicada en las áreas con pérdidas de capa pictórica o lagunas, deberá quedar al mismo nivel que la capa pictórica adyacente. En cuanto a sus características (materiales y dosificación), serán similares a las del estuco utilizado en la elaboración de los soportes de las tablas cromáticas, así como la textura del acabado de la superficie de las lagunas; de todos estos aspectos dependerá, en gran

*Aspectos
previos*

medida, la obtención de unos resultados satisfactorios en la reintegración efectuada.

En este sentido, la preparación de las áreas a reintegrar puede llevarse a cabo con diferentes tipos de estucos, en cuanto a sus componentes (cargas, aglutinantes) y acabados superficiales, siempre y cuando los soportes de las tablas cromáticas se hayan elaborado de la misma forma.

En general, la preparación de las áreas a reintegrar, mediante este nuevo procedimiento de reintegración cromática, es similar al que se realiza para efectuar la reintegración por los sistemas tradicionales.

La finalidad del proceso de reintegración es establecer una igualación cromática de las áreas con pérdidas o lagunas de la capa pictórica, respecto al color original de la pintura adyacente. Como ya se ha definido¹⁷⁵, este tipo de igualación es condicional, ya que, tanto los materiales (pigmentos, aglutinantes) como la técnica utilizada para la obtención de color a reintegrar, son distintos del color original a reproducir.

*Material
necesario*

Para efectuar el proceso de reintegración cromática, es necesario disponer de los FTT y tablas cromáticas. Concretamente, mediante los primeros se puede materializar sobre el área estucada de la laguna, el aspecto cromático adecuado, el cual, a su vez, previamente ha sido identificado en las tablas cromáticas.

*Colocación de
la obra*

La disposición espacial que puede adoptar la obra para realizar el proceso de reintegración, es variada. Así, la reintegración puede llevarse a cabo tanto en posición horizontal como en vertical, si bien, en posición horizontal puede existir el inconveniente de que al utilizar una

¹⁷⁵ Véase cap. II, ap. II.2. *Reproducción del color*, pág. 116.

iluminación cenital, se produzcan sombras proyectadas por el propio restaurador, y de este modo perturbar la reintegración.

Una cuestión previa a la forma de aplicar los FTT sobre la laguna objeto de reintegración, es establecer el tipo de lineatura más conveniente. Según se explicó al definir los negativos tramados empleados para la elaboración de los FTT¹⁷⁶, las lineaturas que se han de utilizar están en función del formato de la obra a reintegrar, así como de la uniformidad y granulometría de la superficie estucada sobre la que se aplican.

*Lineatura de
los FTT*

Si se considera que la distancia mínima de observación de una obra corresponde aproximadamente a la longitud de su diagonal, los FTT que se utilicen deberán tener una lineatura tal que a esa distancia de observación no se perciba su diseño de puntos. Como ya se indicó en la explicación de los negativos tramados¹⁷⁷, la lineatura se calcula de acuerdo a la apreciación visual, de tal forma que lineaturas elevadas cubren un mayor campo de posibilidades ante obras de distintos formatos.

Paralelamente a la descripción general del proceso de reintegración que se expone en los apartados siguientes, se ha considerado oportuno mostrar los resultados obtenidos, tras la reintegración llevada a cabo con este sistema, sobre dos obras concretas. Se trata de dos óleos sobre lienzo; el primero, obra *Paisaje*¹⁷⁸ (61 x 46 cm); figura IV.1. La segunda obra, *Visitación de la Virgen*¹⁷⁹ (34 x 76 cm), figura IV.2, representa un tema religioso de la visitación de la Virgen a su prima Santa Isabel; y está datada a comienzos de siglo.

¹⁷⁶ Véase cap. III, ap. III.1.2. *Negativos tramados*, pág. 222.

¹⁷⁷ Véase cap. III, ap. III.1.2. *Negativos tramados*, págs. 223, 224.

¹⁷⁸ La obra pertenece a la Dra. Dña. M^a. Paz Alonso Cantalapiedra, quien es, a su vez, la autora; fue pintada en el año 1990.

¹⁷⁹ Obra de la primera mitad del siglo XIX; autor anónimo.



Fig. IV.1. Obra *Paisaje*, preparada para efectuar el proceso de reintegración, una vez desestucadas las lagunas y aplicada una ligera capa de barniz de retoques.

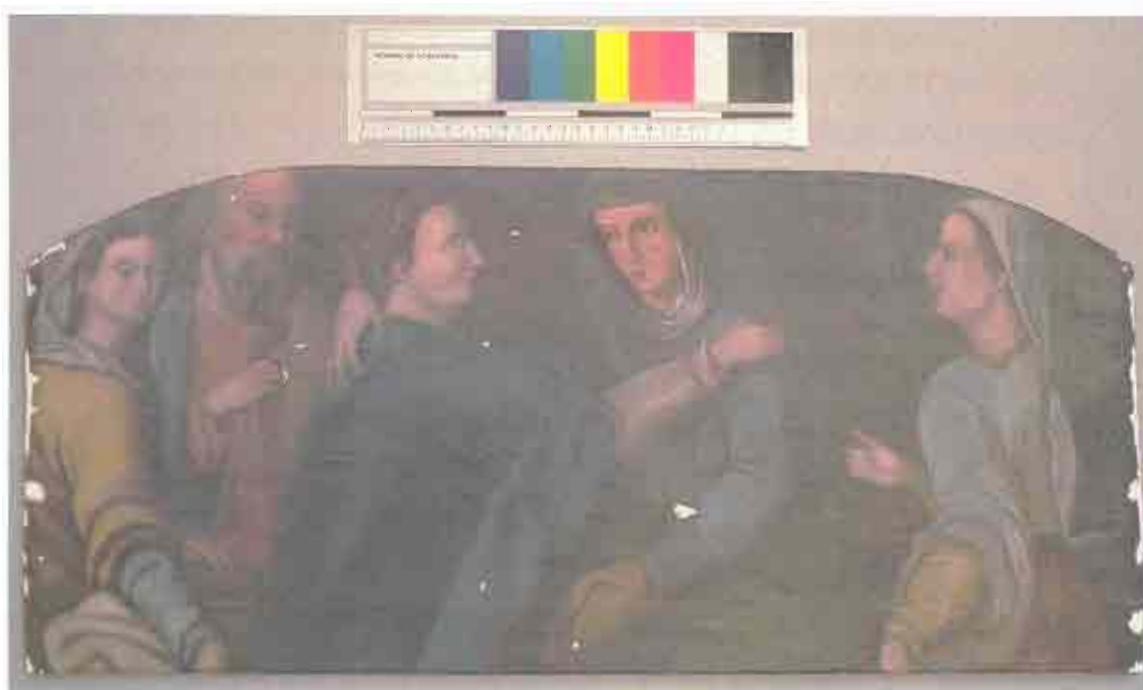


Fig. IV.2. Obra *Visitación de la Virgen*, preparada para realizar el proceso de reintegración.

Teniendo en cuenta las dimensiones de estas dos obras y, considerando que la distancia mínima de observación de las mismas corresponde aproximadamente a la longitud de sus diagonales, estas distancias serían de 76 cm para la obra *Paisaje* y de 83 cm para la obra *Visitación de la Virgen*.

Según esto, para proceder a su reintegración habrá que utilizar unos FTT tal que a la distancia de 76 y 83 cm, respectivamente, no se aprecie el diseño de puntos, o bien los signos de cualquier otro diseño que se utilicen.

De acuerdo con las operaciones correspondientes al cálculo de las lineaturas de los negativos tramados¹⁸⁰, la utilización de unos FTT de una lineatura de 20 l/cm (51 l/pulg) se puede considerar adecuada para llevar a cabo la reintegración de ambas obras, ya que a partir de una distancia de 60 cm este valor de lineatura no permitirá apreciar su diseño de puntos. No obstante, la utilización de una lineatura superior, como por ejemplo puede ser de 39 l/cm (100 l/pulg), asegura un mayor grado de cobertura; recordar que estos valores se pueden utilizar siempre y cuando la textura o rugosidad de la superficie estucada lo permita, tal y como ocurre en el caso de estas obras.

Una vez determinada la lineatura que deben tener los FTT, y elaboradas las tablas cromáticas que se utilicen como patrón de referencia¹⁸¹, se estará en condiciones de desarrollar las distintas etapas del proceso de reintegración (Fig. IV.3).

¹⁸⁰ Véase cap. III, ap. III.1.2. *Negativos tramados*, págs. 223, 224.

¹⁸¹ La lineatura de las tablas cromáticas que se utilicen en la reintegración deberá ser la misma que la de los FTT.

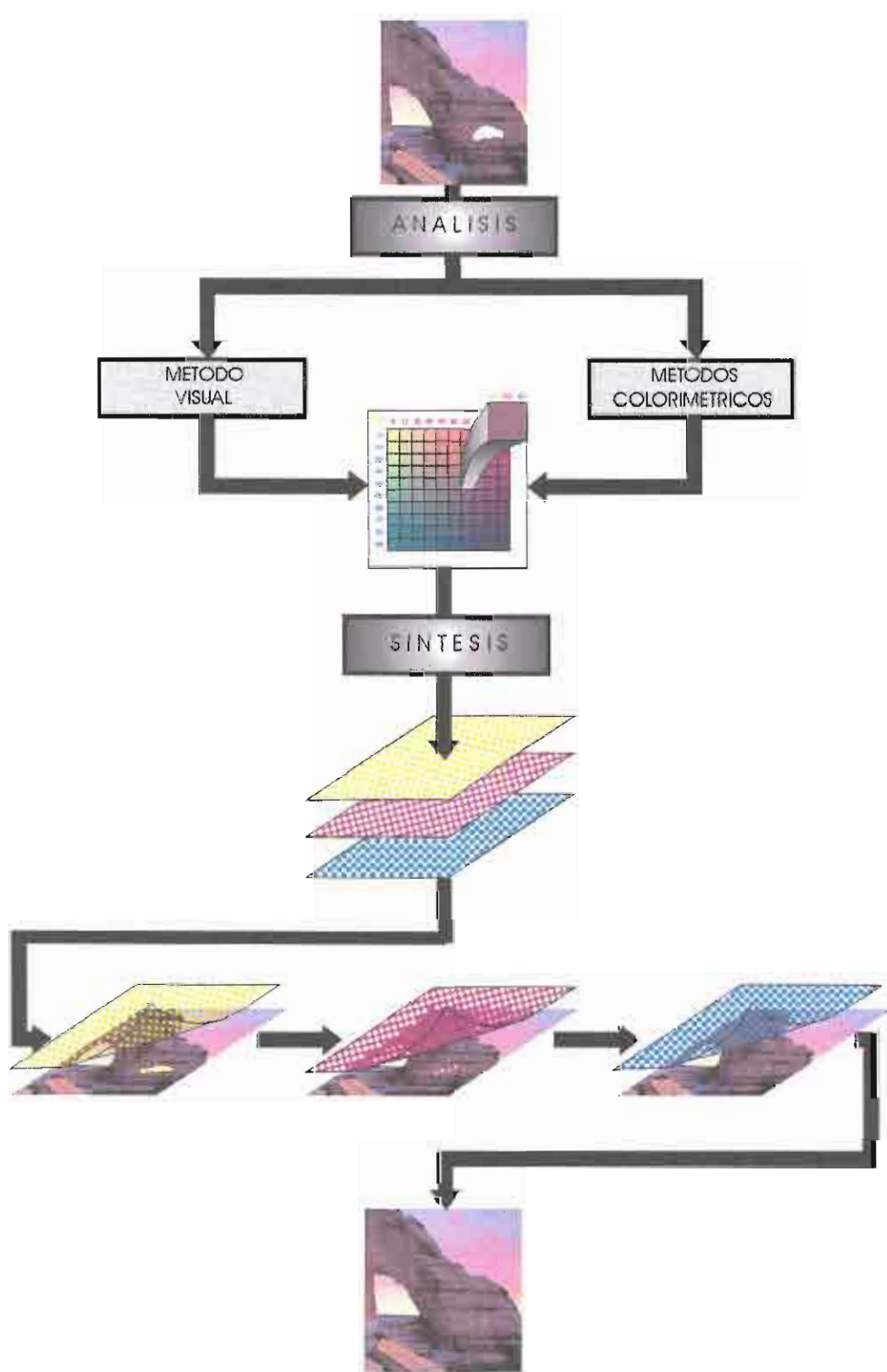


Fig. IV.3. Esquema general de proceso de reintegración realizado sobre una obra.

*Etapas del
proceso de
reintegración*

Este proceso se divide, básicamente, en dos etapas:

- 1.- Análisis del color a reintegrar.
- 2.- Síntesis del color a reintegrar.

En los siguientes apartados se describe detalladamente su desarrollo.

IV.1.- ANÁLISIS DEL COLOR A REINTEGRAR

*Cuantitativo y
cualitativo*

En esta etapa se analiza cualitativa y cuantitativamente el color que se deberá disponer sobre el área a reintegrar de la obra.

La amplia gama de colores recogida en la tabla cromática sirve de patrón de referencia para la elección más adecuada del color a reproducir con respecto a la obra original.

*Identificación
del color en
las tablas*

Una vez obtenida la tabla cromática, con la lineatura que mejor se adapta a las características de la obra a reintegrar, se procede a la identificación sobre la misma de los colores que han de aplicarse en las diferentes lagunas.

*Comparación
visual*

La identificación del color en las tablas cromáticas, básicamente se puede realizar mediante dos procedimientos: un primer procedimiento sería por comparación directa mediante apreciación visual y el otro por medio de un sistema de medida indirecta, a partir de sistemas fundamentados en principios colorimétricos en los que la percepción cromática no se valora directamente. Ambos procedimientos se pueden complementar en su aplicación (Billmeyer y Saltzman, 1981:109).

*Medios
colorimétricos*

IV.1.1.- Análisis comparativo visual

En este sistema de análisis, la diferencia cromática se valora por apreciación visual. Si bien, se trata de una técnica de medición elemental y directa, permite obtener unos buenos resultados. Fundamentalmente, el procedimiento consiste en identificar el color a reproducir, mediante un análisis comparativo visual con respecto a muestras de referencia, en este caso las tablas cromáticas.

Medida directa

En esta comparación visual se establece la relación existente entre la sensación del color original a reproducir y la sensación del color reproducido en la tabla cromática.

El sistema de percepción visual humano es capaz de apreciar mínimas diferencias de color; sin embargo, no puede cuantificar su magnitud. Esta limitación se corrige, en parte, estableciendo la comparación con numerosos patrones de referencia (Billmeyer y Saltzman, 1981:73-74), como son los distintos matices de color de que constan las tablas cromáticas. Así, las tablas cromáticas obtenidas a partir de incrementos de porcentajes de punto de un 5%, que dan lugar a 8.000 matices de color diferentes, permiten establecer un rango de diferencias de color menor que con las tablas cromáticas elaboradas con incrementos de punto de un 10%, las cuales poseen 1.000 colores.

Para realizar esta comparación visual es conveniente estandarizar la metodología a seguir de acuerdo a ciertas normas (ASTM:D1729-89; Robertson, 1978:149-151; UNE 54-002-73; UNE 48-260-94), si bien habrá aspectos que no puedan ser estandarizados, tales como el hecho de que es el propio restaurador el que realiza la comparación visual, a este respecto, será necesario que el restaurador posea una visión normal del color, lo cual se puede comprobar mediante test específicos¹⁸². Los

*Normalización
del
procedimiento*

¹⁸² Esta cuestión, al margen del sistema de reintegración que se plantea, para cualquier tipo de técnica de reintegración debería ser contemplada en la formación del restaurador, para detectar la existencia de posibles anomalías cromáticas en la visión.

factores susceptibles de ser normalizados son la fuente de iluminación, los ángulos de iluminación y observación, así como el entorno de observación (Soriano y Alcón, 1993:39).

Fuente de luz

Tanto la obra a reintegrar como la tabla cromática de referencia para efectuar la comparación visual, deben ser observadas bajo un mismo tipo de iluminación; también es conveniente realizar esta comparación bajo diferentes iluminantes para detectar, si lo hubiese, fenómenos de metamerismo¹⁸³. El aspecto de un color, como ya se indicase¹⁸⁴, depende de la calidad de la luz que incide sobre el mismo.

Ya que el observador humano tiene su máxima experiencia bajo la luz día, la sensación visual producida por la luz artificial que se utilice para realizar la comparación visual, conviene que sea del mismo tipo. La fuente luminosa artificial que más se adapta es aquella que tiene una temperatura de color de 6.500° K (UNE 48-260-94:2), correspondiente a un iluminante CIE D65.

Iluminancia

El plano de observación donde se realiza la comparación visual debe ser uniforme, con una iluminancia de al menos 2.000 lux (UNE 48-260-94:2), siendo menor para la evaluación de muestras claras y mayor para muestras oscuras (Soriano y Alcón, 1993:40).

Ángulos de iluminación

Las geometrías más utilizadas en cuanto a los ángulos de iluminación y observación son de 45° / 0°, o bien, de 0° / 45° (Fig. IV.4); es decir, el iluminante se sitúa con respecto al plano de comparación visual con un ángulo de 45° y el observador con un ángulo de 0° (Fig. IV.4a), o bien al revés, un ángulo de iluminación de 0° y el observador con un ángulo de 45° (Fig. IV.4b) (ASTM:D1729-89:2;

¹⁸³ El fenómeno de metamerismo puede tener una aplicación concreta en la reintegración cromática de obras de arte de forma que la reintegración efectuada sea invisible bajo luz normal de observación de la obra y legible simplemente conmutando la iluminación a otro tipo de lámpara (Palazzi, 1995:112).

¹⁸⁴ Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, pág. 90.

Soriano y Alcón, 1993:40; UNE 48-260-94:4). En cualquier caso, se debe evitar que alguna luz alcance directamente el ojo del observador, a fin de eliminar los efectos de reflexión especular y, por otra parte, se iluminará uniformemente tanto el color a reproducir como la tabla cromática patrón.

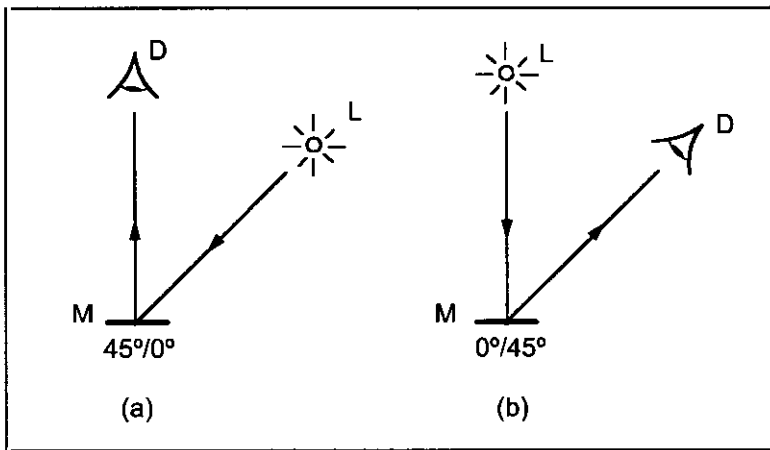


Fig. IV.4. Geometría de medición bidireccional. Fuente luminosa (L), Detector (D) y Muestra (M).

Por otra parte, las áreas circundantes al plano de comparación visual de la obra y de la tabla cromática, no deben influir cromáticamente en el análisis comparativo. Para ello, estas áreas deben tener un color gris neutro mate, (ASTM:D1729-89:2; Soriano y Alcón, 1993:40; UNE 48-260-94:3), de modo que produzca la mínima interferencia e influencia sobre las condiciones de observación.

*Color de las
áreas
adyacentes*

Generalmente el color a reproducir en la obra no está aislado, sino rodeado por distintos colores, al igual que ocurre con el color que se pretende identificar en la tabla cromática; esta situación hace necesario aislarlos de los matices limítrofes para de esta forma evitar su influencia durante la comparación visual (Agoston, 1987:11; Alberts, 1985; Chróscicki, 1978:417; Küppers, 1994:9). Esto se logra mediante la utilización de dos láminas de cartulina gris neutro mate, de una

Procedimiento

reflectancia del 60% y de unas dimensiones de aproximadamente 15 x 15 cm. En cada una de estas láminas se practica una ventana en el centro de 0,5 x 0,5 cm; una de estas plantillas se coloca sobre el color que se desea reproducir de la obra a reintegrar y la otra plantilla sobre el color de la tabla cromática que se considere semejante. Procediendo de esta forma se evita la interacción de los colores circundantes.

Lógicamente, en un principio se tendrá que ir variando la situación de la plantilla en la tabla cromática hasta encontrar el color adecuado.

La elección del color se realiza situando la tabla cromática lo más próxima al color que se pretende reproducir¹⁸⁵, de tal forma, que ambos matices puedan ser evaluados en su comparación visual simultáneamente, sin tener que desplazar la cabeza a uno y otro lado. La aproximación material de la tabla cromática junto al color a reproducir resulta fácil, ya que con esta finalidad se confeccionó la tabla en distintos fragmentos cómodamente manejables.

Inconvenientes

Con este sistema de comparación visual, se habrá de tener en cuenta que en la identificación del color a reintegrar, no todos los individuos perciben por igual los colores y, en consecuencia, no todos interpretan por igual una misma diferencia de color. La diferencia en la visión del color entre individuos son debidas a las variaciones en la densidad de las células fotorreceptoras en la zona amarilla o fovea de la retina¹⁸⁶, y también al incremento del amarilleamiento de las lentes visuales con el envejecimiento (Staniforth, 1985:102). Otros aspectos que condicionan las diferencias entre la sensibilidad de un observador a otro, son el entrenamiento y la experiencia (Wright, 1969:157).

¹⁸⁵ Según Wright (1969:156), se produce una mejor discriminación visual del color a igualar cuando las áreas de color adyacentes objeto de comparación, presentan un límite casi invisible entre ellas, así como cuando las áreas son de un formato mayor.

¹⁸⁶ Véase cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, págs. 92, 93.

La colorimetría mediante sistemas de medida indirecta, permite efectuar una evaluación objetiva que puede complementar la comparación visual realizada (Billmeyer y Saltzman, 1981:97), si bien, el paralelismo o concordancia entre las medidas colorimétricas y las visuales son insuficientes para poder determinar una relación directa entre ambas (Salvia, 1990:22).

IV.1.2.- Análisis comparativo colorimétrico

Para la medición de las diferencias de color de forma indirecta, cuando se trata de colores opacos reflejados, suele ser el sistema CIELAB¹⁸⁷ el más recomendado y utilizado en la práctica (Agoston, 1987:91; Billmeyer y Saltzman, 1981:104; Palazzi, 1995:48, 50; Pérez y García, 1994:15; Richter, 1980:25). Este sistema permite representar gráficamente las diferencias cromáticas en un espacio o sólido de color; está basado en las coordenadas L^* , a^* , b^* , a su vez, relacionadas con los valores triestímulo X, Y, Z, del sistema CIE, mediante las siguientes ecuaciones (UNE 40-435-84):

*Medida
indirecta*

CIELAB

*Relación
coordenadas
 L^* , a^* , b^* y
X, Y, Z*

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 \left[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right] \\ b^* &= 200 \left[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right] \end{aligned} \quad (IV.1)$$

La figura IV.5 corresponde a la representación gráfica de este espacio de color; está definido por coordenadas cartesianas ortogonales, y a lo largo de cada eje se representa la percepción visual del color. El

*Espacio de
color CIELAB*

¹⁸⁷ Para una representación visual, inmediata y cualitativa del color es frecuente utilizar el diagrama xy del sistema CIE, si bien para efectuar los cálculos cuantitativos se utiliza como referencia el espacio CIELAB (Palazzi, 1995:49).

eje vertical, L^* , corresponde a la claridad-oscuridad, el eje a^* , a la tonalidad rojo-verde y el eje b^* , a la tonalidad azul-amarillo¹⁸⁸.

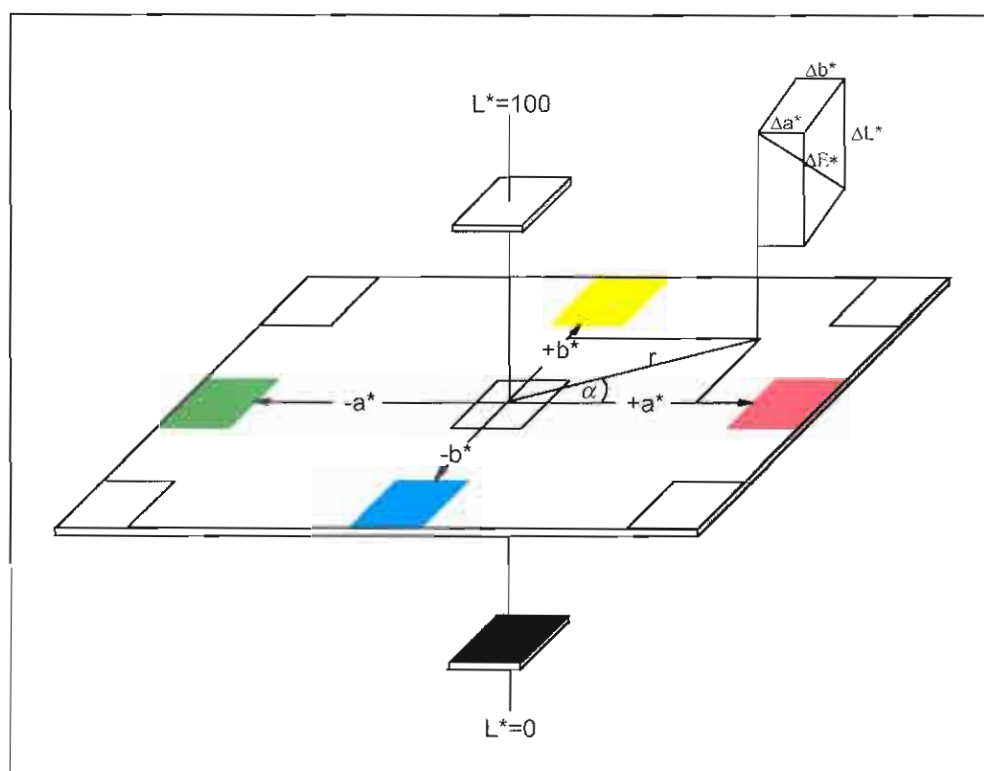


Fig. IV.5. Espacio cromático CIELAB-1976.

Los instrumentos que pueden ser utilizados para realizar las correspondientes medidas colorimétricas indirectas son los colorímetros y espectrofotómetros. Cuando se quiere determinar la diferencia cromática existente entre el color a reproducir y el color de comparación de la tabla cromática, estas medidas deben realizarse en las mismas condiciones y bajo los mismos valores de referencia: geometría de medición, sistema de iluminación, iluminante y observador estándar

Colorímetros y
espectrofotó-
metros

¹⁸⁸ Este sistema de representación cromática, se adecua a la teoría de visión basada en procesos opuestos, definida en la nota a pie de página número 66 del cap. II, ap. II.1.1.3. *Percepción luz-color*, pág. 97.

(Billmeyer y Saltzman, 1981:73-74; Pérez y García, 1994:15; UNE 40-435-84).

En el sistema CIELAB, las diferencias de color, vienen expresadas por la fórmula matemática (UNE 72-036-82; UNE 40-435-84):

Diferencia cromática

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (IV.2)$$

Respecto a los valores de tolerancia de la diferencia de color calculada según la ecuación anterior, no se puede establecer un único criterio ya que debido a la falta de homogeneidad del sistema CIELAB, los valores varían según las zonas del espacio de color¹⁸⁹ (Palazzi, 1995:53). Así, en la representación de las diferencias cromáticas para valores muy concretos, las sensaciones visuales percibidas correspondientes a iguales diferencias de color no se agrupan bajo unos mismos valores numéricos.

Inconvenientes

Por lo tanto, si se trata de establecer criterios de aceptación respecto a un valor de diferencia de color, habrá que definir este valor para cada atributo del color, luminosidad, saturación y tono (Palazzi, 1995:95), y según las zonas del espacio de color¹⁹⁰. Las ecuaciones que determinan las diferencias correspondientes a cada uno de estos atributos, vendrán ajustadas por una serie de parámetros complementarios distintos según la ecuación de que se trate (Billmeyer y Saltzman, 1981:104; UNE 72-036-82; UNE 40-435-85):

Solución

¹⁸⁹ Este aspecto queda patente en los estudios realizados por MacAdan (1942), correspondiente a las distintas formas geométricas elipsoidales que agrupan las sensaciones de color percibidas, según la zona del espacio de color que se considere.

¹⁹⁰ Dependiendo de la zona del espacio de color la apreciación visual presenta diferente sensibilidad según sean los colores a analizar más o menos intensos o pálidos, o según la tonalidad de los mismos.

$$\begin{aligned}
 \Delta L^* &= L_p^* - L_s^* \\
 \Delta C^* &= \left[(a_p^* - a_s^*)^2 + (b_p^* - b_s^*)^2 \right]^{1/2} \\
 \Delta S^* &= (a_p^{*2} + b_p^{*2})^{1/2} - (a_s^{*2} + b_s^{*2})^{1/2} \\
 \Delta H^* &= (\Delta C^{*2} - \Delta S^{*2})^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{IV.3}$$

siendo ΔL^* la diferencia de luminosidad o claridad, ΔC^* la diferencia de cromaticidad, ΔS^* la diferencia de saturación y ΔH^* la diferencia de tono. El subíndice "s" está referido a la muestra estándar y el subíndice "p" a la muestra a comparar.

*Ecuaciones de
unificación*

Como soluciones propuestas de unificación, existen ecuaciones que pretenden transformar la sensación visual de diferencia de color en unos valores numéricos, relacionando las medidas objetivas del color con la sensación percibida por el ojo humano (Billmeyer y Saltzman, 1981:102-103; Melgosa *et al.*, 1990:138-144).

Sin embargo, a partir de la utilización de cualquiera de las distintas ecuaciones propuestas, la expresión numérica de la diferencia de color mediante un único valor equivalente a una misma sensación de diferencia de color, presenta siempre ciertas desviaciones respecto a la reproducción cromática pretendida.

De todas las ecuaciones desarrolladas para esta finalidad, es la denominada CMC¹⁹¹ la que más se aproxima a una representación uniforme de las diferencias de color (McLaren, 1983:131-134; Melgosa *et al.*, 1990:140; Palazzi, 1995:92-93; Pérez y García, 1994:17). La expresión de dicha fórmula CMC es la siguiente:

¹⁹¹ Colour Measurement Committee.

$$^{192}\Delta E_{cmc} = \left[\frac{(\Delta L^*)^2}{IS_l} + \frac{(\Delta C^*)^2}{cS_c} + \frac{(\Delta H^*)^2}{S_h} \right]^{1/2} \quad (IV.4)$$

Para establecer un criterio de *perceptibilidad* de la diferencia de color entre el color a analizar en la obra y el color a comparar en la tabla cromática, se toman como valores constantes $l=1$ y $c=1$, de manera que las desviaciones de luminosidad y saturación tienen la misma consideración. Sin embargo, si se establece un criterio de *aceptabilidad* respecto a un valor dado de la diferencia de color, se recomiendan los valores constantes de $l=2$ y $c=1$, lo cual supone una mayor tolerancia sobre la diferencia de luminosidad que sobre el tono (Melgosa *et al.*, 1990:140; Pérez y García, 1994:18).

Una vez establecidos por el restaurador los valores de tolerancia para la diferencia cromática, según se adopte un criterio de *aceptabilidad* o *perceptibilidad*, los resultados de las medidas de diferencias de color efectuadas tendrán diferentes resultados; así:

Valores de tolerancia

- a) Si el valor de la medida de diferencia de color es menor que la establecida como límite tolerable, el color de comparación de la tabla cromática es aceptable.
- b) Si el valor de la medida es mayor que el límite tolerable, el color con el que se establece la comparación es rechazado.

¹⁹² La unidad de diferencia de color está relacionada directamente con la ecuación de diferencia de color que se emplee, por lo tanto, habrá tantas unidades de diferencia de color como ecuaciones (FMC2, CMC, ANLAB, JPC79, CIELAB, etc.); en el caso de la Ec. IV.4, las unidades serán cmc.

IV.1.3.- Valoración porcentual tricromática del color analizado

Nomenclatura del color identificado

Una vez identificado en la tabla cromática el color similar al que se pretende reproducir, bien por los procedimientos descritos de comparación visual, comparación colorimétrica, o bien por una forma complementaria de ambos procedimientos, se procede a la valoración de los tres colores base: amarillo, magenta y cian, que constituyen el color identificado. Con esta finalidad, cada color está caracterizado mediante una nomenclatura, directamente relacionada con los tres colores base que lo constituyen, y que informa sobre sus respectivos porcentajes.

Parámetros

Esta nomenclatura consta de tres parámetros. El primero, muestra el porcentaje de punto correspondiente al color amarillo, cuyo valor está expresado en la parte superior izquierda de cada fragmento en que se divide la tabla cromática (Figs. III. 43); por ejemplo, A₃₀ corresponde a un porcentaje de punto del 30% de color amarillo. El segundo parámetro define el porcentaje de punto del color magenta, el cual aparece reflejado en la coordenada horizontal superior, donde viene expresado el porcentaje correspondiente; por ejemplo, M₆₀ indica un porcentaje de punto del 60% de color magenta. Por último, el tercer parámetro define el porcentaje de punto de color cian, cuyo valor está expresado en la coordenada vertical izquierda; por ejemplo, C₄₀ indicaría un porcentaje de punto del 40% de color cian. De la forma especificada el color identificado quedará definido por un valor constituido por tres parámetros, que siguiendo el ejemplo descrito, sería A₃₀M₆₀C₄₀.

Esta cifra indicativa no es solamente lo que podría denominarse como el nombre del color, sino también y al mismo tiempo, su fórmula de mezcla, ya que de manera similar a una fórmula química, informa sobre las proporciones de la mezcla.

Para llevar a cabo la identificación del color a aplicar en cada una de las lagunas de la obra, es necesario utilizar un soporte transparente (poliéster, acetato, papel vegetal, etc.), sobre el que se

realizará un dibujo de la posición de las lagunas en la obra. Sobre este soporte se anota, al margen de cada laguna, los distintos porcentajes de punto de cada uno de los tres colores base que lo forman y que serán aplicados para la reproducción del color identificado. De esta forma, con la ayuda del soporte transparente, la identificación de los colores que deben figurar en cada una de las lagunas a reintegrar se realizará en una misma etapa del proceso.

Analizados los distintos porcentajes de punto que deberán tener los FTT que se apliquen en las diferentes lagunas, el siguiente paso es sintetizar estos porcentajes de punto, para obtener de nuevo el color identificado en la tabla cromática.

IV.2.- SÍNTESIS DEL COLOR A REINTEGRAR

Una vez definidos los tres registros cromáticos: amarillo, magenta y cian, en sus diferentes porcentajes de punto, necesarios para reproducir el color de la laguna examinada, se procede a sintetizar el color en sí, o lo que es lo mismo, a establecer de nuevo la absorción selectiva conjunta de los registros tricromáticos analizados. Para ello se realiza una transferencia superponiendo la imagen de los FTT correspondientes a los porcentajes de punto para cada uno de los tres colores base.

*Restitución
tricromática*

La transferencia, sobre el área estucada de la laguna, de los tres FTT en sus correspondientes porcentajes de punto, permite recrear de nuevo con exactitud el color identificado en la tabla cromática y por otra parte análogo al color original a reproducir en la obra.

La ilusión óptica que genera la observación del conjunto de puntos de color transferidos a la laguna: amarillo, magenta y cian, más los generados por síntesis sustractiva debido a la superposición: azul,

verde, rojo y negro, produce en conjunto una sensación monocroma uniforme, dotada de una cierta vibración cromática.

Para llevar a cabo la transferencia material de los distintos FTT sobre el área a reintegrar es necesario seguir una metodología concreta, que se desarrolla en el apartado siguiente.

IV.2.1.- Procedimiento operativo

*Orden de
colocación de
los FTT*

La aplicación de los FTT sobre la laguna a reintegrar se debe realizar siguiendo un determinado orden de colocación: amarillo, magenta y cian. Este orden es el mismo que el utilizado en la elaboración de las tablas cromáticas y responde a las características de los pigmentos utilizados, concretamente a la falta de aditividad en la superposición de los mismos. Según los pigmentos tengan cierta opacidad, no presentarán una transmisión del 100 % para las longitudes de onda no absorbidas; estas capas de color deberán ser situadas en primer lugar, y en la medida que la transmisión se aproxima al 100 % se aplicarán en último lugar (Fig. IV.6).

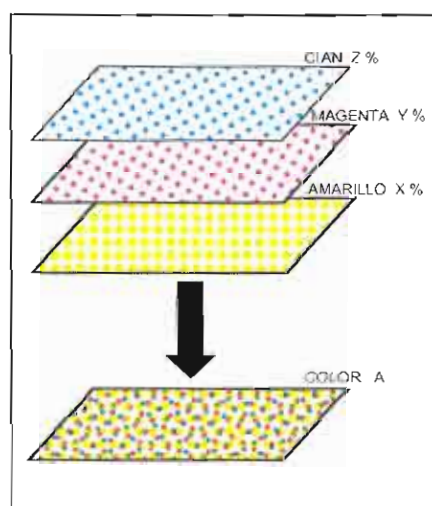


Fig. IV.6. Esquema secuencial de la aplicación de FTT de los tres colores base con distintos porcentajes de punto e inclinaciones.

Sin embargo, si existiesen pigmentos "ideales", cuya transmisión de las longitudes de onda no absorbidas fuese del 100 %, y estos fuesen los utilizados para elaborar los FTT en cada uno de los tres colores base, sería indistinto el orden de colocación de los mismos. Si bien, como ya se ha citado¹⁹³, estos pigmentos "ideales" son ciertamente utópicos.

Por otra parte, en la aplicación de los FTT sobre la laguna a reintegrar se mantendrá siempre una determinada dirección en la colocación de los mismos; de esta forma, cada color tendrá la angulación correspondiente establecida durante su elaboración de 15°, 45° y 75°, y se evitará el efecto muaré¹⁹⁴.

Posicionamiento

El proceso de transferencia de la imagen de puntos de los FTT sobre la laguna a reintegrar puede dividirse en las siguientes etapas:

Transferencia de los FTT

- a) Colocación del primer FTT, con la cara de la imagen de puntos en contacto con la superficie de la laguna a reintegrar.
- b) Aplicación de una ligera presión sobre el reverso del FTT en el área objeto de la reintegración, para la transferencia a la misma de los puntos de color.
- c) Comprobación de la transferencia de la totalidad de los puntos en el área a reintegrar y separación del soporte.

Siguiendo estas tres etapas, se transferirá el primer FTT de porcentaje de punto de color amarillo; los otros dos FTT, magenta y cian, con sus respectivos porcentajes de punto, se transferirán de la misma forma (Figs. IV.7-10).

¹⁹³ Véase cap. II, ap. II.2.2.2. *Función de los pigmentos*, pág. 145.

¹⁹⁴ Véase cap. II, ap. II.2.2.3.6. *Percepción cromática de un diseño de puntos*, pág. 172.



Fig. IV.7. Detalle ampliado (x 3) de un fragmento de la obra *Visitación de la Virgen*, correspondiente a la laguna situada en el extremo de la mano izquierda de la Virgen.



Fig. IV.8. Transferencia sobre la laguna del primer color previamente analizado, correspondiente al 90% de porcentaje de punto de color amarillo.



Fig. IV.9. Transferencia sobre la laguna del segundo color, correspondiente al 70% de porcentaje de punto de color magenta.



Fig. IV.10. Transferencia del último color, correspondiente al 50% de porcentaje de punto de color cian.

Señalar, que para conseguir la igualación cromática de muchos de los colores a reintegrar no será necesario transferir los tres colores base, ya que puede ocurrir que con una combinación de dos colores o incluso simplemente uno sólo, sea suficiente. Es por ello que el primer color transferido pueda ser, en algunos casos, el color magenta o bien, el color cian.

*Disposición
estratigráfica
de los puntos*

Según se observa en la figura IV.11, la disposición que adoptan los puntos de color una vez transferidos sobre la capa de estuco de la laguna, muestra una perfecta adaptación a la topografía de su superficie, y esta adaptación también existe entre las propias capas de color.



Fig. IV.11. Corte estratigráfico que muestra la disposición que adoptan los distintos porcentajes de punto de color aplicados sobre una capa de estuco (x 200).

Por otra parte, la sección estratigráfica de la distribución de los puntos de color en el área reintegrada, muestra como la superposición de los mismos es parcial en determinadas áreas, dependiendo de los porcentajes de punto de cada capa de color. Así, pueden encontrarse los puntos de los tres colores aislados, dos o tres superpuestos, o bien el color blanco del estuco. La mezcla sustractiva de las diferentes superposiciones de los puntos de color, vistos desde una perspectiva cenital, tiene como resultado un aspecto cromático variado (Fig. IV.12-13).

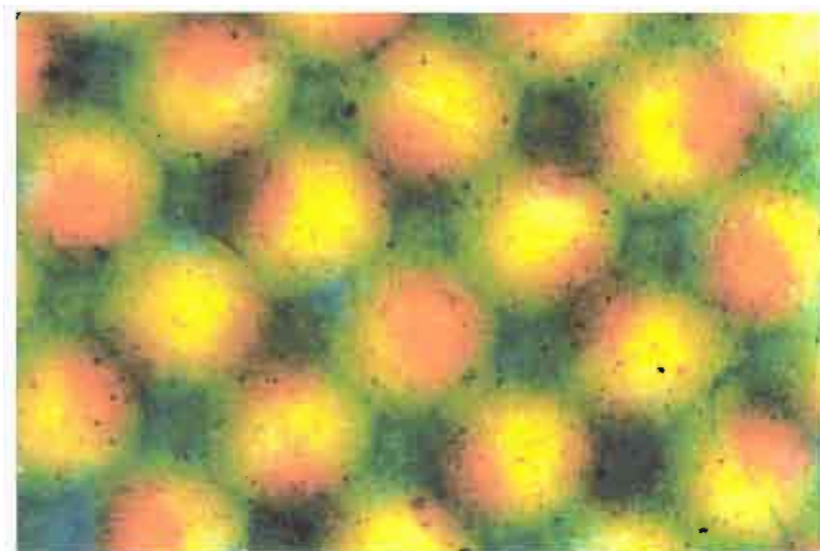


Fig. IV.12. Imagen ampliada (x100) de la disposición que adoptan los puntos una vez transferidos; corresponden a unos porcentajes de punto del 90% de color amarillo, un 20% de color magenta y un 60% de color cian.

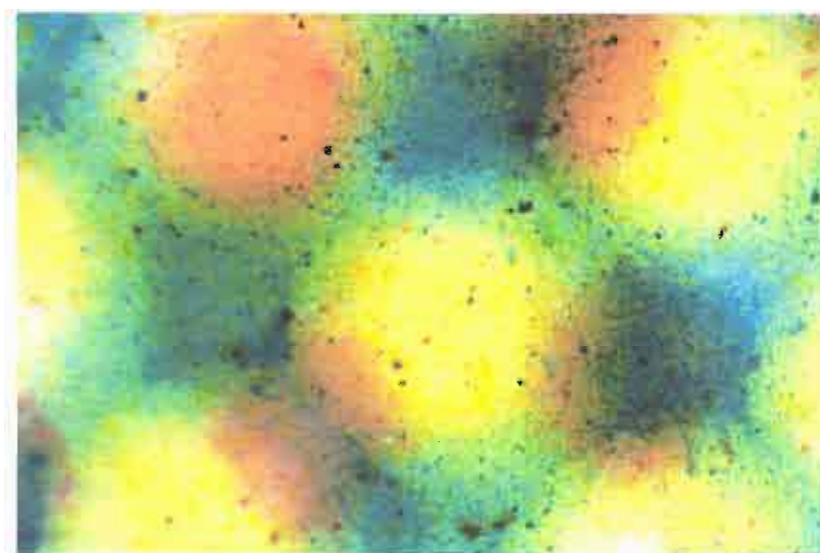


Fig. IV.13. Imagen ampliada (x200) de los mismos porcentajes de punto que la imagen anterior.

IV.2.2.- Consideraciones técnicas

<i>Esquema previo</i>	<p>Como ya se ha explicado la identificación de cada uno de los distintos porcentajes de punto de color necesarios para reproducir el color en las diferentes lagunas, se toman de las anotaciones realizadas, sobre un soporte transparente durante la fase previa de análisis.</p>
<i>Útiles para efectuar la transferencia</i>	<p>Una vez determinados los FTT necesarios, se procede a la transferencia de los mismos, concretamente de la imagen de puntos que sustentan. Para ello, se ejerce una presión sobre el reverso del FTT mediante distintos útiles que tengan una punta roma, como pueden ser los bruñidores de punta de piedra de ágata utilizados en el proceso de dorado. Según sea el tamaño de la laguna donde se realiza la transferencia, podrán utilizarse distintos tamaños de puntas, con la forma que mejor se adecue. De esta manera, se obtendrá una mejor aplicación y una mayor rapidez.</p>
<i>Delimitar la laguna</i>	<p>La imagen de puntos transferida corresponderá únicamente a las áreas donde es ejercida la presión; por esta razón, al efectuar esta presión es necesario definir nítidamente los bordes que delimitan la laguna. Este aspecto está influenciado por el grosor que pueda tener el soporte del FTT, ya que si es excesivo, no permitirá realizar un transferencia nítida en los bordes de la laguna al distribuirse la fuerza ejercida sobre el mismo en un área mayor. No obstante, si alguna zona de la laguna es sobrepasada por la imagen de puntos, estos pueden ser eliminados fácilmente debido a su carácter reversible.</p>
<i>Inconveniente</i>	<p>Durante el transcurso de la transferencia de los FTT sobre la laguna se pueden producir desplazamientos involuntarios de los mismos, ya sea al ejercer la presión, o bien, al levantar el FTT para comprobar el desarrollo de la transferencia; esta circunstancia puede influir de forma negativa en el diseño de puntos transferido, ya que se genera una ruptura de la continuidad de los mismos que puede</p>

percibirse visualmente. Por esta razón, en la reintegración de lagunas de notables dimensiones, donde es factible que puedan ocurrir estos desplazamientos de los FTT, durante el proceso de transferencia conviene fijarlos temporalmente por uno de sus márgenes a la obra.

Los materiales que constituyen los FTT, así como los posteriores tratamientos a que son sometidos durante su elaboración, permiten que la imagen de puntos transferida se adapte perfectamente a las variaciones dimensionales del sustrato sobre el que se transfieren, no oponiéndose a las tensiones que se generen, ya sea por el sustrato o por la capa pictórica adyacente. Característica que evita la influencia de posibles cambios dimensionales sobre la reintegración efectuada, de forma que no aparezcan ribeteados que delimiten la reintegración respecto a la pintura original adyacente.

*Variaciones
dimensionales*

Esta capacidad de adaptación se consigue mediante el proceso enzimático¹⁹⁵ realizado después del revelado de los FTT, en el cual se lleva a cabo una ruptura parcial de las cadenas macromoleculares de la gelatina. Por otra parte este proceso también permite que la transferencia de la imagen de puntos se realice sólo en las áreas sobre las que se ejerce la presión, ya que al no existir unas cadenas moleculares largas la imagen de puntos puede ser fragmentada a intervalos muy cortos, prácticamente puntuales. Si esto no fuese así, es decir, si las cadenas moleculares no estuviesen fragmentadas parcialmente, en los FTT de porcentajes de punto superiores al 50%, en los cuales existen uniones entre los puntos adyacentes, al aplicar la presión la imagen de puntos, sería transferida pero al levantar el FTT la imagen de puntos permanecerá unida al resto de puntos adyacentes donde no se ha ejercido presión, arrastrándolos consigo.

¹⁹⁵ Véase cap. III, ap. III.1.3.2.2. *Preparación para la transferencia*, pág. 251.

Una vez aplicada la imagen de puntos de los FTT sobre el área de la laguna, el resto de los puntos que permanecen en el FTT pueden ser utilizados posteriormente para su aplicación sobre otras lagunas cuyas dimensiones permitan cubrir.

*Parcelación de
la laguna por
colores*

La reintegración de lagunas que dentro de la misma área presentan diferentes colores claramente definidos, se realiza fragmentado o parcelando cada color dentro de la laguna y posteriormente reintegrando cada una de las zonas con los colores correspondientes, previamente identificados en las tablas cromáticas de referencia.

Matizaciones

El resultado de la transferencia tricromática descrito hasta el momento, permite obtener diferentes colores planos monocromáticos. En áreas en las que sea necesario realizar matizaciones tonales, o bien rasgos lineales se procederá a realizar una aplicación parcial de este mismo sistema de reintegración. Para ello, se efectúan transferencias parciales de la imagen de puntos que contienen los FTT sobre el color tricromático inicialmente transferido, hasta obtener la matización adecuada. Observar, que en estas áreas reintegradas en las que se realizan matizaciones podrán existir más de tres porcentajes de puntos distintos.

*Combinación
con otras
técnicas*

También existe la posibilidad, aunque no sea la más recomendada al tener que mezclar técnicas distintas, de poder realizar matizaciones posteriores sobre la reintegración tricromática inicial, mediante ligeras veladuras de acuarela, *maireri* u otras técnicas usadas habitualmente en el campo de la reintegración cromática. Si bien, esta alternativa deberá ser ejecutada de forma que permita apreciar en todo momento el diseño de puntos subyacentes de la tricromía, de manera que siga existiendo el carácter fácilmente discernible de la reintegración. Por otra parte, para la ejecución de estas veladuras se

deberán utilizar pigmentos que sean lo suficientemente estables cromáticamente y compatibles con los utilizados en los FTT.

Una vez concluida la reintegración se procederá al barnizado de la obra. Se deberá efectuar con un tipo de barniz, mate, brillante o semimate, semejante al utilizado en la elaboración de la tabla cromática tomada como patrón de referencia. Este aspecto habrá de tenerse en cuenta al inicio de la reintegración, en el momento de elegir la tabla cromática con la lineatura, soporte, textura, así como el tipo de barniz que mejor se adapte a la obra a reintegrar.

Barnizado

La aplicación del barniz sobre la obra reintegrada puede realizarse con brocha o pulverizado; sin embargo, si se hubiese efectuado alguna matización utilizando algún aglutinante soluble en el mismo, como por ejemplo *mimeri*, solamente podrá aplicarse el barniz pulverizado.

La reversibilidad de la reintegración efectuada está garantizada en la medida en que se elimina la capa de intervención del barniz de retoques, aplicada antes de efectuar la reintegración y sobre la cual se asienta.

Siguiendo la metodología descrita, se ha realizado la reintegración de las obras, *Paisaje* y *Visitación de la Virgen*, cuyos resultados se muestran en las figuras IV.14-25.



Fig. IV.14. Obra *Paisaje*, en la etapa previa a la reintegración.



Fig. IV.15. Obra *Paisaje*, una vez efectuada la reintegración de las lagunas. Los FTT utilizados en la reintegración tienen una lineatura de 39 l/cm.



Fig. IV.16. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.17. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.





Fig. IV.18. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.19. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.20. Imagen ampliada (x 1) de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.21. Imagen ampliada (x 3) de un fragmento de la laguna de la obra *Paisaje*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.22. Obra *Visitación de la Virgen*, en la etapa previa a la reintegración cromática.



Fig. IV.23. Obra *Visitación de la Virgen*, una vez efectuada la reintegración de las lagunas; se ha utilizado FTT con una lineatura de 39 l/cm.



Fig. IV.24. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Visitación de la Virgen*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



Fig. IV.25. Imagen ampliada (x 3) de la laguna de la obra *Visitación de la Virgen*, correspondiente al área indicada en la figura adjunta.



V. DISCUSIÓN



Los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo, por un lado se refieren a la metodología desarrollada para la obtención de los FTT y de las tablas cromáticas, y por otra parte, corresponden a las distintas etapas a seguir para la aplicación del SIRECRAMT.

*Clasificación
de los
resultados*

Por esta razón, la discusión del conjunto de estos resultados se plantea bajo estos tres aspectos, los cuales son tratados en apartados diferentes.

a) *Fondos tramados transferibles (FTT).*

El método desarrollado en esta Memoria ha permitido, fundamentalmente, demostrar la viabilidad del sistema de reintegración propuesto, principal objetivo de esta investigación.

*Variaciones en
la obtención
de los FTT*

No obstante, hay que señalar que esta metodología de obtención de los FTT es susceptible de modificaciones, tanto en cuanto a sus componentes como en lo que se refiere al procedimiento operativo.

Así, concretamente la obtención de los FTT por medios fotomecánicos puede llevarse a cabo de distintas formas. Una posibilidad es la seguida en esta investigación, pero también pueden plantearse y desarrollarse otros sistemas que introduzcan variaciones en las distintas etapas, tal como la relacionada con la naturaleza de los componentes de la emulsión fotosensible y su dosificación; así, por ejemplo podrían utilizarse emulsiones a base de polímeros sintéticos, o bien emplearse otros pigmentos. Asimismo, en la etapa de transferencia se puede plantear otro tipo de tratamiento de los FTT para que la imagen de puntos sea transferible.

A su vez, se pueden considerar otras alternativas de obtención de los FTT por métodos distintos a los procedimientos fotomecánicos, tales como medios serigráficos o de estampación, o bien computerizados. Estos procedimientos de obtención quedan abiertos como otras vías de investigación, para ser desarrollados en trabajos posteriores.

*Distintos
diseños de FTT*

Por otra parte, el diseño de los FTT, independientemente del método de obtención, puede realizarse con distintos signos o elementos gráficos, si bien en este caso se ha optado por la utilización de signos cuya forma geométrica corresponde a puntos. Otros tipos de diseños pueden estar constituidos por líneas, trazos irregulares u otras formas geométricas. Actualmente, es factible crear múltiples diseños a partir de las posibilidades que ofrecen las diferentes aplicaciones gráficas de los sistemas computerizados. La utilización de FTT con distintos diseños de signos permitirá poder efectuar reintegraciones más acordes con las características del tipo de obra que se presente.

En cualquier caso, teniendo en cuenta que los FTT son meras herramientas que permiten al restaurador efectuar el proceso de

reintegración, puede considerarse que cualquiera de las alternativas planteadas que permita la obtención de los FTT puede ser válida, por ello no se ha estimado necesario tener que desarrollar todas y cada una de ellas.

Otra cuestión a considerar sería determinar cual de las posibles alternativas de obtención de los FTT: método fotomecánico, serigráfico o computerizado, resulta más idónea y económica, de forma que permita conseguir unos resultados óptimos reproducibles. Estos aspectos resultan fundamentales desde el punto de vista de su explotación comercial.

Es importante especificar que no será tarea del restaurador la elaboración de los FTT, sino que éstos serían elaborados por casas comerciales¹⁹⁶, donde se podrían adquirir para su posterior aplicación. La elaboración de los FTT por procedimientos fotomecánicos resulta una labor compleja, en la que es necesaria una cierta infraestructura para su desarrollo, que no tiene relación directa con los recursos utilizados por el restaurador ni con su labor específica. Por ello, la elaboración de los FTT por parte del restaurador resultaría un tarea ardua, que daría lugar a la obtención de resultados poco satisfactorios en cuanto a que no serían reproducibles de una forma sistemática, alejándose por lo tanto de la normalización que se pretende obtener en los resultados finales.

*El restaurador
no elabora los
FTT*

La elaboración de los FTT por industrias especializadas estará supeditada a la aceptación que pueda tener el sistema propuesto en el campo de la Restauración, así como de su interés comercial.

Una vez establecido a quienes compete la labor de obtener los FTT, el restaurador se limitará a utilizarlos como meras herramientas que le permiten en primer lugar elaborar las tablas cromáticas de

¹⁹⁶ Señalar que tanto para el método de elaboración de los FTT, como para la metodología de aplicación del SIRECRAMT han sido solicitadas las correspondientes patentes con los números: P9900107 y P9802182, respectivamente.

referencia y posteriormente efectuar de forma fácil y cómoda, a la vez que rápida, la reintegración cromática en las lagunas de la obra.

b) *Tablas cromáticas de referencia.*

Al igual que los FTT, las tablas cromáticas deben considerarse como meras herramientas de trabajo que permiten realizar el proceso de reintegración.

Las tablas cromáticas, como sistema de referencia para la identificación y posterior aplicación del color, contemplan una serie de posibilidades. Pueden ser utilizadas para diferentes obras, si bien es necesario que el sustrato correspondiente a la capa de preparación de las tablas sea similar al aplicado en las lagunas a reintegrar. Asimismo, es posible que sean empleadas por distintos restauradores; es decir, las tablas cromáticas pueden ser intercambiadas por los miembros de un mismo equipo de restauradores o entre distintos equipos. En consecuencia, no es necesario que cada restaurador cuente con múltiples variaciones de tipos de tablas.

*Herramienta
de referencia y
apoyo*

Estas tablas ofrecen al restaurador una referencia cromática que le permite establecer cualitativa y cuantitativamente la composición del color a reintegrar en base a los componentes tricromáticos: amarillo, magenta y cian. De esta forma es posible la igualación cromática sin necesidad de efectuar tentativas previas de aproximación del color.

*Adaptación a
diferentes tipos
de obra*

Las tablas cromáticas desarrolladas en esta investigación tienen una lineatura de 39 l/cm y un diseño a base de puntos. Se ha optado por estas características, ya que permiten abarcar una amplia variedad de formatos y tipos de obra; no obstante, se podrá disponer de tablas cromáticas con diferentes lineaturas y diseños, de forma que puedan

utilizarse las que mejor se adapten a las necesidades específicas de la obra a reintegrar.

En cuanto a la gama de colores obtenida, en concreto 1.000 colores, que corresponden a un incremento de porcentaje de punto del 10%, este valor puede ser ampliado disminuyendo el incremento; así, por ejemplo se pueden lograr 8.000 colores si estos incrementos son del 5%.

*Amplitud de
las tablas
cromáticas*

Por último, señalar la posibilidad de introducir modificaciones en cuanto a la forma de presentación de las tablas cromáticas. La disposición en atlas o carpetas para su uso durante la aplicación del sistema, puede tener diseños diferentes al propuesto, siempre que permitan una adecuada adaptación a las necesidades. Así, se podrán presentar las tablas desplegadas en forma de abanico, sistema plegable o con otra disposición. De igual forma, también se puede incrementar el tamaño de la superficie de cada uno de los colores que componen las tablas cromáticas, con el fin de aumentar el área objeto de comparación en la fase de análisis.

*Otras formas
de
presentación*

c) *Aplicación del sistema de reintegración.*

Si bien en esta Memoria, la aplicación práctica del SIRECRAMT ha sido llevado a cabo sobre pintura de caballete, y en principio, pudiera considerarse que este sistema está concebido para su utilización exclusiva sobre este tipo de obras, es necesario señalar que su ámbito de aplicación es más amplio. Existen otros campos, tales como la pintura mural o incluso la escultura policromada en los que es posible su empleo. No obstante, será necesario realizar los correspondientes ensayos previos que permitan confirmar sus posibilidades y limitaciones, de igual modo que se ha hecho en pintura de caballete.

*Ámbito de
aplicación*

*Tricromía /
Cuatricromía*

La resolución de este sistema de reintegración cromática por medio de una tricromía en lugar de una cuatricromía (los tres colores base más el color negro) tiene por finalidad mantener la pureza del color reproducido¹⁹⁷; de esta forma se garantiza la vibración cromática del área reintegrada, efecto pocas veces conseguido con los sistemas de reintegración tradicionales. En este sentido, destacar que, para conseguir el color deseado, normalmente, el restaurador tiende a incorporar, sin determinación previa, múltiples colores durante el transcurso de la reintegración, los cuales llegan a anularse cromáticamente entre sí.

*Pureza de los
colores
utilizados*

No obstante, cabe señalar que las medidas densitométricas realizadas en el proceso de elaboración de los FTT, muestran indicios de impurezas en los tres colores base en cuanto a su absorción selectiva, circunstancia que afecta a la superposición de las capas de color correspondientes a la máxima saturación de cada uno de los tres colores base: amarillo, magenta y cian. A este respecto, se ha comprobado que el resultado de esta superposición no permite obtener un negro totalmente neutro, como sería lo esperado si los colores base utilizados fuesen "ideales" en su absorción selectiva, sino que presenta una cierta tonalidad.

*Reintegración
visible /
invisible*

Respecto a la percepción del área reintegrada en las obras experimentadas, conviene señalar que en el diseño de puntos de los FTT de una lineatura de 39 l/cm, éstos no son apreciados de forma aislada a la distancia mínima de observación de la obra, sino que se perciben en su conjunto como una tonalidad cromática. Destacar que si la distancia de observación es inferior, los puntos son identificados aisladamente.

Esta característica permite incluir el procedimiento descrito dentro de los sistemas de reintegración visibles o discernibles. No

¹⁹⁷ Véase cap. II, ap. II.1.2.1 *Características subjetivas del color*, pág. 106.

obstante, la utilización de unos FTT con una lineatura muy elevada, lo cual sería posible siempre que lo permitan las características del soporte sobre el que se aplica, podría situar el procedimiento próximo a los sistemas de reintegración invisible, en cuanto a su apreciación visual; sin embargo, hay que señalar que incluso en este caso, siempre será posible su discernimiento con ayuda de instrumentos ópticos de aumento, sin tener que recurrir a otros tipos de análisis.

En relación a los FTT de una lineatura de 39 l/cm utilizados para la reintegración de las obras *Visitación de la Virgen* y *Paisaje* destacar su adaptación óptima a las características de ambas obras. Por una parte, en cuanto a que su lineatura se adecua perfectamente a la textura del estuco aplicado, y por otra, en cuanto que permite efectuar la observación de la obra incluso a una distancia inferior a la considerada como mínima, sin que sean apreciados los puntos aisladamente. Esta circunstancia permite plantear la posibilidad de utilizar unos FTT de lineatura inferior.

*Adaptación de
la lineatura a
las obras
reintegradas*

La posibilidad de realizar las matizaciones del color a reintegrar mediante la aplicación de veladuras cromáticas, utilizando técnicas distintas al sistema planteado, supone la incorporación de nuevos pigmentos y aglutinantes, en muchos casos no testados en cuanto a su estabilidad. Por esta razón, como alternativa se sugiere efectuar las posibles matizaciones cromáticas, aplicando parcialmente los FTT sobre el color monocromo obtenido en una primera etapa del proceso; de esta forma no se incorpora ningún otro material distinto a los hasta ahora utilizados. No obstante, puede resultar también válida la aplicación de las veladuras para conseguir las matizaciones, siempre que se realicen con materiales lo suficientemente estables.

*Matizaciones
cromáticas*

Respecto a la transferencia de la imagen de puntos de los FTT sobre el área de la laguna es necesario definir nítidamente sus límites, de manera que la transferencia quede exclusivamente reducida al área objeto de la reintegración, sin exceder sobre la capa pictórica. A este

*Adaptación de
los FTT a la
textura de la
laguna*

respecto, es aconsejable una óptima adaptación a los microaccidentes topográficos de las lagunas, tales como sus bordes, o textura del estuco aplicado; en los casos más extremos, este efecto podría lograrse mediante la utilización de FTT con un soporte de poliéster de menor grosor que el utilizado en las pruebas realizadas.

*Transferencia
simultánea de
puntos*

Según la forma operativa de reintegración descrita, la aplicación de la imagen de puntos de color de los FTT se efectúa sobre la laguna a reintegrar por transferencia de bloques de puntos, lo cual otorga al sistema una agilidad y rapidez de ejecución considerables, disminuye el tiempo de reintegración, y además, mantiene la calidad en el trazado de los puntos.

Hay que señalar que no en todas las áreas a reintegrar será necesario la aplicación de los tres colores base y, por lo tanto, realizar tres transferencias para obtener el color deseado, sino que con uno o dos colores base será suficiente, lo cual disminuye el tiempo de reintegración.

Por otra parte, las etapas de transferencia definidas permiten que el proceso de reintegración pueda ser interrumpido en cualquier momento, sin que esto suponga un detrimento de los resultados cromáticos finales obtenidos.

*Errores de
transferencia*

En relación a cualquier equivocación que se produzca durante el proceso de transferencia de los FTT, resulta más ventajoso, en cuanto a rapidez y resultados se refiere, eliminar la capa o capas transferidas e iniciar el proceso de transferencia nuevamente. La eliminación de las capas transferidas por medios mecánicos resulta fácil y rápida, sin deterioro del sustrato de estuco subyacente.

*Colocación de
los FTT*

En cuanto a la disposición de los FTT sobre la obra a reintegrar, habrá que tener la precaución de que éstos mantengan, aproximadamente, sus respectivos ángulos de inclinación respecto a la

horizontal; de esta forma el diseño de puntos de color que cada uno de ellos contiene será transferido manteniendo la inclinación asignada en su elaboración, evitándose así el efecto ya descrito de muaré. No obstante, para mantener esta posición no será necesario realizar medidas de angulación exactas para la colocación de los FTT, sino simplemente tener en cuenta esta observación para no poner cada uno de una forma diferente.

Destacar la importancia y necesidad de un riguroso control de calidad colorimétrico durante el proceso de elaboración de los FTT. Este control deberá realizarse sobre los valores porcentuales de punto obtenidos y sobre el propio color. Lo contrario puede suponer la existencia de variaciones cromáticas entre los FTT utilizados para la realización de las tablas cromáticas y los FTT utilizados en la reintegración, lo cual daría lugar a una falta de correspondencia entre los valores porcentuales identificados en las tablas cromáticas y los FTT a transferir en las lagunas; esta situación proporcionaría resultados negativos, poco satisfactorios. Por este motivo, es necesario insistir en la importancia de estos controles colorimétricos que permiten asegurar la obtención de resultados repetitivos.

*Control
colorimétrico*

Por último, señalar que si bien, una de las grandes ventajas del SIRECRAMT es que se trata de un sistema objetivo en cuanto a su ejecución, sin embargo hay que considerarlo como una herramienta puesta al servicio del restaurador y su adecuada utilización estará siempre guiada por el criterio de éste.

VI. CONCLUSIONES



VI

Conclusiones

Las conclusiones que se derivan del trabajo de investigación recogido en esta Memoria, comprenden los siguientes aspectos: puesta a punto de la metodología de preparación de los FTT por medios fotomecánicos, y la obtención de las correspondientes tablas cromáticas; aplicación práctica del SIRECRAMT sobre obra real; comparación de este nuevo sistema de reintegración con respecto a los sistemas tradicionales. Estos diferentes aspectos pueden resumirse en los siguientes puntos:

*Conclusiones
generales*

- 1) La metodología de preparación de los FTT por medios fotomecánicos, exige una serie de etapas perfectamente definidas, en cuyo desarrollo intervienen diferentes variables que deben ser optimadas; todo ello con el fin de que los fondos obtenidos reúnan las condiciones necesarias para ser utilizados en el proceso de reintegración.

*Preparación
de los FTT*

*Etapas para la
obtención de
los FTT*

- 2) Estas etapas contemplan los siguientes aspectos: método de preparación de la emulsión fotosensible, que incluye, a su vez, la adecuada selección y dosificación de sus componentes, así como la propia obtención de la película fotosensible; determinación de las condiciones de montaje de esta película con el negativo tramado, y las de la propia exposición; obtención del fondo tramado tras el adecuado revelado, y tratamiento del mismo para que sea posible su transferencia.

*Viabilidad del
sistema*

- 3) La preparación de los FTT por métodos fotomecánicos ha hecho posible demostrar la viabilidad del SIRECRAMT como método de reintegración. A este respecto señalar que tanto para el método de elaboración de los FTT, como para la metodología de aplicación del SIRECRAMT han sido solicitadas con los números P9900107 y P9802182, las correspondientes patentes.

No obstante, el método de obtención desarrollado queda abierto a posibles modificaciones, relacionadas con la naturaleza y dosificación de los componentes de la emulsión fotosensible, así como con el propio proceso de transferencia.

*Otros métodos
de obtención*

Asimismo, cabe plantear la posibilidad de desarrollar otros procesos de obtención de los FTT, tales como a partir de medios serigráficos o computerizados.

*Controles
colorimétricos*

- 4) Los FTT obtenidos deben ser sometidos a controles colorimétricos, referidos a medidas densitométricas de los colores obtenidos y medidas de los porcentajes de punto; estos controles permitirán obtener, de forma sistemática, resultados óptimos en la reproducción del color.

*FTT de
diferentes
características*

- 5) Los FTT pueden ser elaborados con diferentes diseños de signos y lineaturas; posibilidad que se ve favorecida, mediante

la utilización de las distintas aplicaciones informáticas existentes para la obtención de los negativos tramados.

- 6) Los FTT y las tablas cromáticas obtenidas a partir de éstos, son las herramientas necesarias e imprescindibles para la aplicación del sistema de reintegración que se plantea. Los primeros -FTT- serían productos comercializados y los segundos -tablas cromáticas- serían preparadas por el propio restaurador, de acuerdo a las necesidades planteadas por las características de la obra a reintegrar.

*Medios
necesarios*

Estas necesidades están relacionadas con los materiales utilizados por el propio restaurador y las características de la obra a restaurar. En este sentido habrá que considerar los siguientes factores: dimensiones y tipología de la obra; condiciones del estuco en cuanto a granulometría, textura y color; y orden de aplicación de los FTT.

- 7) El estuco utilizado en la preparación de las tablas cromáticas y el de la laguna a reintegrar deben presentar similares características. Su granulometría y textura determinarán ciertas propiedades de los FTT; concretamente si la superficie obtenida es fina y homogénea será posible la utilización de FTT con diseños de signos de elevadas lineaturas.

*Tablas
cromáticas:
consideraciones*

- 8) Mediante la utilización de un número reducido de tablas cromáticas de diferentes características en cuanto al diseño e incrementos de porcentaje de punto, y con una elevada lineatura, es posible abarcar un amplio número de obras de tipología distinta.

*Tablas
cromáticas de
diferentes
características*

- 9) La aplicación práctica del SIRECRAMT pone de manifiesto las características de este sistema de reintegración, las cuales cumplen los criterios básicos de restauración; en este sentido,

*Reversible,
estable y
discernible*

se trata de un sistema reversible, estable y fácilmente discernible.

*Reintegración
visible*

Respecto a ésta última característica, es importante destacar que se encuentra enmarcado dentro de los sistemas de reintegración visible; el trazado de los puntos u otro tipo de signos aplicados en el área reintegrada es apreciable a simple vista, o bien mediante la utilización de sencillos instrumentos ópticos de aumento.

Versatilidad

- 10) Se trata de un sistema versátil, fácilmente adaptable al formato y características de la obra sobre la que se aplica.

La lineatura de los FTT utilizados en la elaboración de las tablas cromáticas y en el proceso de reintegración, estará determinada por el formato de la obra. Su adecuada selección es responsable de que a una distancia normal de observación, no se perciba el diseño de signos, y al mismo tiempo, a una distancia más próxima sea perfectamente diferenciable.

Asimismo, dentro de los diferentes diseños de signos (puntos, líneas u otras formas geométricas), siempre se podrá seleccionar aquél que mejor se adapte a las características de la obra a reintegrar.

Objetivación

- 11) La metodología de aplicación del SIRECRAMT sigue unas etapas perfectamente definidas, que permiten una sistematización del proceso de reintegración. El resultado final es tanto más óptimo y reproducible, en la medida que se reduce el número de variables y su valor queda perfectamente especificado a partir de los correspondientes patrones de referencia (tablas cromáticas). Estas variables se refieren al número de colores (tricromía), uniformidad en el trazado y disposición de los signos.

Esta sistematización hace posible que el trabajo del restaurador sea más objetivo; los resultados cromáticos finales se pueden controlar tanto en cuanto al color como en lo que se refiere a la forma y disposición de los signos.

No obstante, seguirá siendo fundamental el criterio del restaurador, apoyado en su formación y derivado de las características técnicas de la obra.

- 12) La sistematización desarrollada en el SIRECRAMT hace posible su aplicación con medios muy simples, si bien siempre que sea posible podrán ser empleados equipos más complejos y a la vez más costosos; con esta segunda alternativa cabría un cierto perfeccionamiento de los resultados obtenidos.

Simplicidad de medios

En este sentido, hay que destacar que una de las grandes ventajas de este sistema, es que puede ser utilizado tanto por un restaurador que disponga de un taller equipado con los medios básicos, como por una institución o empresa dotada de un instrumental más sofisticado, como son los colorímetros y espectrofotómetros.

- 13) Los fundamentos teóricos en los que se basa el SIRECRAMT para la reproducción del color: estímulos de color, percepción del color, leyes de mezcla cromática, puntos de medio tono, etc., están directamente relacionados con la aplicación práctica de los sistemas de reintegración tradicionales. Por tanto, un mejor conocimiento de estos fundamentos, permitirá al restaurador ejercer de una forma más adecuada la praxis de la reintegración cromática, independientemente del sistema aplicado.

Ampliación de conocimientos teóricos

- 14) La forma de aplicación del SIRECRAMT permite una mayor rapidez de ejecución. No hay que realizar manualmente la labor de completar punto a punto, trazo a trazo, la superficie de las

Rapidez de ejecución

lagunas a reintegrar; trabajo que en áreas de gran tamaño, puede resultar especialmente tedioso. A este aspecto hay que añadir la seguridad que posee el restaurador de conocer *a priori* el color final que va a obtener, y el modo de obtenerlo, en cuanto a los FTT que tiene que utilizar.

*Homogeneidad
de ejecución*

- 15) Para aquellas obras en las que el proceso de reintegración es llevado a cabo por varios restauradores, este sistema permite asegurar la obtención de un resultado homogéneo en cuanto a trazos y colores utilizados. Como es sabido, con los sistemas tradicionales, es difícil lograr esa homogeneidad, que normalmente está limitada por la técnica y grado de perfeccionamiento alcanzado por cada restaurador.

En el SIRECRAMT, lógicamente, este efecto se logrará, siempre y cuando los restauradores que intervengan sigan el mismo criterio en la selección de los FTT (diseño de signos y lineatura) y elaboración de las tablas cromáticas (preparación del estuco e incremento de los porcentajes de punto de los FTT).

*Uniformidad y
mayor
resolución*

- 16) La posibilidad de que los FTT sean elaborados a partir de negativos tramados, realizados con los medios tecnológicos actualmente disponibles, permite conseguir una mayor uniformidad y resolución en el trazado de los signos que configuran la imagen cromática. Comparativamente, en los sistemas tradicionales este aspecto está supeditado a la destreza y medios del restaurador.

*Vibración
cromática*

- 17) El uso exclusivo de tres colores, de acuerdo al sistema de tricromía planteado, asegura la vibración cromática del área reintegrada; objetivo que también se pretende alcanzar con los procedimientos existentes, si bien pocas veces es conseguido. En la mayoría de los casos se debe a que se realiza una mezcla

de más de tres colores, los cuales tienden a anularse cromáticamente.

- 18) Asimismo, la utilización de estos tres colores (amarillo, magenta y cian), cuyo comportamiento en cuanto a estabilidad e interacción ha sido previamente estudiado, permite lograr unos resultados perfectamente controlados, respecto a las posibles variaciones cromáticas que puedan experimentar a largo plazo. *Reducción de posibles alteraciones cromáticas*
- 19) Con el SIRECRAMT es posible utilizar el mismo tipo de trazado que en los sistemas tradicionales de reintegración, tales como puntillismo, *rigattino* o *tratteggio*, o bien, cualquier otro tipo de trazos que resulten más adecuados a las características de la obra; todo ello con las ventajas mencionadas de rapidez y uniformidad en su ejecución. *Emulación de técnicas tradicionales*
- 20) Se puede considerar que este sistema resulta plenamente efectivo cuando, de acuerdo al tipo de obra a reintegrar, se lleva a cabo una reintegración mediante abstracción cromática. Señalar que en el caso de realizar una selección cromática, técnica en la que normalmente es necesario realizar matizaciones de color, resulta fundamental el criterio del restaurador para lograr una igualación del color a reintegrar. *Abstracción cromática*
- 21) El procedimiento de reintegración desarrollado permite el intercambio de criterios entre restauradores. Esto es posible al disponer de patrones definidos (tablas cromáticas) que facilitan la caracterización precisa del color a aplicar en la reintegración. Ya no es necesario recurrir a términos subjetivos tales como azul verdoso o rosa pálido, sino que el color queda perfectamente definido como por ejemplo $A_{20}M_{60}C_{40}$. *Lenguaje cromático común*

Por otra parte, existe la alternativa de poder utilizar medios colorimétricos, como son los colorímetros y espectrofotómetros, para complementar al actuación del restaurador al establecer la igualación cromática.

... ..

En general, la incorporación de nuevos desarrollos tecnológicos, así como la tendencia a una sistematización del procedimiento de reintegración, facilitan al restaurador llevar a cabo el complejo proceso de reproducción del color.

Por último, señalar como ventaja añadida de este sistema, así como la de cualquier técnica de reintegración nueva que surja, que al abrir nuevas perspectivas sobre un asunto que se supone conocido puede estimular el inicio de líneas originales de investigación.

ANEXO



A partir de las escasas referencias bibliográficas existentes sobre el tema, y teniendo en cuenta las necesidades que tiene que cubrir cualquier sistema de reintegración, ha sido necesario realizar múltiples ensayos para llegar a establecer la metodología de preparación de los FTT.

Los aspectos considerados en el desarrollo de esta metodología han sido los siguientes:

- Componentes: naturaleza y dosificación.
- Método de emulsionado.
- Disposición del soporte emulsionado, con respecto al negativo tramado, durante el proceso de exposición.

- Procesado de la emulsión para conseguir la imagen de puntos de color.
- Determinación de los tiempos de exposición para cada uno de los tres colores (amarillo, magenta y cian).
- Preparación del FTT para la transferencia de la imagen.

El proceso, en su conjunto, ha sido tremendamente complejo y laborioso debido, por un lado, a los múltiples factores a considerar, y por otra parte, a que éstos se encuentran muy estrechamente relacionados.

*Apartados de
los ensayos*

A continuación se relacionan aquellos ensayos más significativos, que a su vez comprenden cinco etapas relacionadas con las variables o aspectos a considerar en la elaboración y aplicación de los FTT; estas etapas son: *soporte, emulsión* (componentes-dosificación y emulsionado), *exposición, procesado y transferencia*.

Ensayo 1

A partir de los datos de que se dispone relacionados con las emulsiones utilizadas en los procesos pigmentarios (Bargilliat, 1958:367-370; Clerc, 1910:145; Clerc, 1947:348-369; Crawford, 1979:183-226; Glafkides, 1967:652-656; Nadeau, 1986:58-59; Namias, 1921:293-311; Namias, 1935:763, 768; Reed, 1966:53, 55, 58-59; Sassi, 1922:234-236; Zelich, 1995:76-79), así como con el proceso de emulsionado de planchas para reproducción impresa y, por otra parte, teniendo en cuenta las características generales del proceso que se pretende conseguir, se establecen los componentes de la emulsión, sus dosificaciones iniciales y condiciones de procesado.

a) *Soporte*: En base a los aspectos de fotorreproducción que debe reunir el proceso, así como la posterior aplicación por transferencia de la imagen de puntos obtenida sobre el área a reintegrar, se opta por un soporte con las siguientes características: transparente, flexible, escaso grosor (50 - 150 μ), impermeable, textura lisa y uniforme, y estable dimensionalmente de forma que no sufra variación durante las diferentes etapas del proceso.

El tipo de soporte utilizado y que se adecúa a dichas características, es el que corresponde a una lámina de poliéster de 100 μ de espesor de la marca *abezeta*¹⁹⁸. Los ensayos se realizan sobre un soporte de este tipo, de un formato de 7 x 10 cm.

Poliéster

b) *Emulsión*:

*Componentes-Dosificación*¹⁹⁹: Agua (77,9%), gelatina²⁰⁰ (14,7%), sacarosa²⁰¹ (2,5%), pigmento cian²⁰² (2,5%), fenol²⁰³ (0,2%), glicerina²⁰⁴ (1,5%), dicromato²⁰⁵ (0,7%).

*Gelatina
dicromatada*

Emulsionado: Aplicación de la emulsión a una temperatura de 40° C sobre el soporte de poliéster. En esta etapa se realizan diferentes ensayos utilizando distintos tipos de pincel plano (espuma, pelo natural y sintético).

*Mediante
pincel*

¹⁹⁸ Ensayos previos realizados con otros tipos de soportes de características diferentes, concretamente con el soporte para transparencias (Ref. PP2500) de la marca 3M, así como con el soporte obtenido a partir del procesado sin exposición previa de una película fotosensible de alto contraste para blanco y negro, no han permitido obtener unos resultados satisfactorios.

¹⁹⁹ Se expresa en (p/p) de gramos de soluto por 100 gramos de disolución.

²⁰⁰ Gelatina DIFCO, núm. de ref. 0143 - 01, de una dureza de aproximadamente 200 Bloom.

²⁰¹ Sacarosa para análisis ACS, C₁₂H₂₂O₁₁, de Panreac.

²⁰² El pigmento cian utilizado es comercializado por Winsor & Newton con el nombre de "Thalo Blue" o "azul de ftalocianina"; presenta una composición química a base de ftalocianina de cobre.

²⁰³ Fenol, C₆H₅OH, de Panreac.

²⁰⁴ Glicerina, C₃H₈O₃, de Panreac.

²⁰⁵ Dicromato amónico, (NH₄)Cr₂O₇, de Panreac.

c) Exposición: No se realiza.

d) Procesado: No se realiza.

e) Transferencia: No se realiza.

Los resultados negativos obtenidos en la etapa de emulsionado impiden continuar con el desarrollo de las etapas siguientes.

*Emulsionado
irregular*

La aplicación de la emulsión mediante pincel no permite obtener una capa fina y uniforme sobre el soporte, debido a la elevada tensión superficial de la emulsión con respecto a la del soporte. Esta situación impide un buen mojado de la superficie y provoca concentraciones irregulares de la emulsión. Por tanto, se considera conveniente la adición de una mínima cantidad de tensoactivo a la composición de la emulsión con el fin de disminuir su tensión superficial.

Ensayo 2

Se incorpora un tensoactivo en la composición de la emulsión y además se ensaya otro método de emulsionado del soporte.

a) Soporte: Se utiliza el mismo que en el Ensayo 1, láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) Emulsión:

*Tensoactivo
0,1%*

Componentes-Dosificación: Agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo²⁰⁶ (0,1%).

²⁰⁶ Tensoactivo Triton® X-100, de Panreac.

Emulsionado: Distribución de la emulsión por rotación del soporte. Concretamente, se lleva a cabo mediante rotación constante del soporte, sobre cuyo centro se vierte la emulsión a una temperatura de 40° C; de esta forma la fuerza centrífuga del giro favorece su distribución uniforme.

*Mediante
rotación*

c) Exposición: No se realiza.

d) Procesado: No se realiza.

e) Transferencia: No se realiza.

Como en el ensayo anterior, los resultados obtenidos en la etapa de emulsionado del soporte no permiten continuar con el desarrollo de las etapas siguientes.

Si bien la incorporación del tensoactivo favorece el mojado de la superficie, el método utilizado en la etapa de emulsionado no permite una distribución regular de la emulsión.

*Emulsionado
irregular*

Ensayo 3

Se ensaya una tercera forma de emulsionado del soporte, consistente en el arrastre de la emulsión sobre el soporte mediante el empleo de un rodillo.

a) Soporte: Se utiliza el mismo que en el Ensayo 1 y 2, láminas de poliéster de 100 µ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Se mantiene la del Ensayo 2: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian

(2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

*Mediante
arrastre con
rodillo*

Emulsionado: Aplicación de la emulsión a una temperatura de 40° C sobre el soporte de poliéster mediante arrastre con rodillo de cristal; este sistema permite realizar emulsionados con distintas cantidades de emulsión, dependiendo de la separación existente entre el rodillo y el soporte.

c) Exposición: No se realiza.

d) Procesado: No se realiza.

e) Transferencia: No se realiza.

Se siguen obteniendo resultados negativos en la etapa de emulsionado, por lo que no es posible continuar con el desarrollo de las etapas siguientes.

*De nuevo,
emulsionado
irregular*

A medida que la cantidad de emulsión aplicada disminuye, tienden a producirse los mismos efectos que en los ensayos anteriores en cuanto a que no se logra un buen mojado de la superficie del soporte. Por otra parte, la utilización de una mayor cantidad de emulsión, aunque permite vencer la tensión superficial de ésta, no favorece la homogeneidad en su distribución.

Ensayo 4

Se ensaya una cuarta forma de emulsionado del soporte: por nivelación de precisión del soporte sobre el que se vierte la emulsión²⁰⁷.

²⁰⁷ La superficie donde se realiza el emulsionado es nivelada micrométricamente mediante un nivel de precisión tubular de alta sensibilidad, de forma que permita un reparto uniforme de la emulsión vertida.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en los Ensayos 2 y 3: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Colocación del soporte de poliéster a emulsionar en un contenedor plano perfectamente nivelado, sobre el que se vierte la emulsión a una temperatura de 40° C y se distribuye sobre su superficie de manera que su propia nivelación provoca un reparto uniforme; para facilitar la nivelación y vencer la tensión superficial del soporte se vierte una determinada cantidad de emulsión por centímetro cuadrado de soporte, concretamente 0,05 cm³ / cm².

*Emulsionado
por nivelación*

Una vez emulsionado el soporte y gelificada la emulsión se realiza su secado en la oscuridad, a una temperatura entre 20° y 25° C, y a una humedad relativa de 60 %, durante 120 minutos.

Secado

c) *Exposición*: No se realiza.

d) *Procesado*: No se realiza.

e) *Transferencia*: No se realiza.

Los resultados obtenidos llevan a la conclusión de que este procedimiento de emulsionado, permite obtener una capa de emulsión regular sobre la superficie del soporte. Estos resultados son

*Emulsionado
regular*

satisfactorios en primera instancia, si bien serán nuevamente constatados en el desarrollo de las restantes etapas del proceso.

Ensayo 5

Se procede a ensayar las restantes etapas del proceso, realizando la exposición y procesado de un soporte emulsionado según la forma descrita en el Ensayo 4.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en los Ensayos 2, 3 y 4: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el procedimiento establecido en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: El soporte emulsionado se coloca bajo un negativo tramado, de manera que sus respectivas emulsiones estén en contacto; a su vez, ambos se disponen entre dos cristales transparentes, de forma que se ejerza una presión que garantice un contacto íntimo de sus superficies (Fig. 1). El conjunto así preparado es expuesto bajo luz ultravioleta a distintos tiempos de exposición, que oscilan de 1 a 15 minutos, en incrementos de un minuto.

*Emulsión con
emulsión*

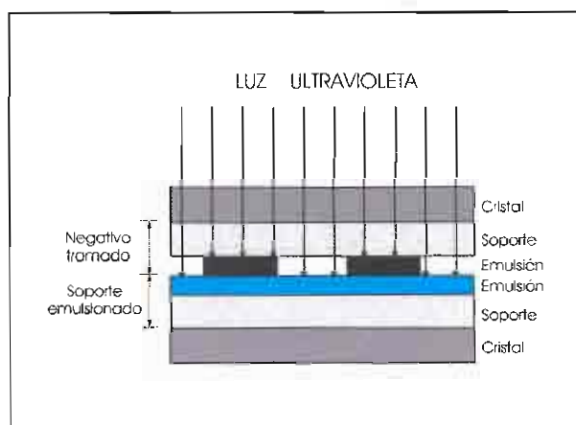


Fig. 1. Esquema de la disposición de los distintos elementos del montaje para realizar la exposición a la luz ultravioleta del soporte emulsionado.

d) Procesado: El soporte emulsionado y expuesto a la luz es revelado; se utiliza como revelador un baño de agua a una temperatura de 45° C con una agitación continua y un tiempo de revelado de 10 minutos.

*Revelado en
agua*

e) Transferencia: No se realiza.

Los resultados obtenidos tras el procesado hacen reconsiderar el procedimiento seguido en el montaje del negativo tramado y el soporte emulsionado para realizar la exposición.

Estos resultados demuestran que las áreas de emulsión que han sido expuestas durante un corto espacio de tiempo (1-10 min.), no llegan a alcanzar una insolubilización total en todo su espesor, es decir hasta el soporte. Esta situación da lugar a que debajo de estas áreas aparentemente insolubilizadas, existan áreas solubles que en la etapa de revelado se desprenderán, arrastrando consigo las áreas insolubles superpuestas (Fig. 2).

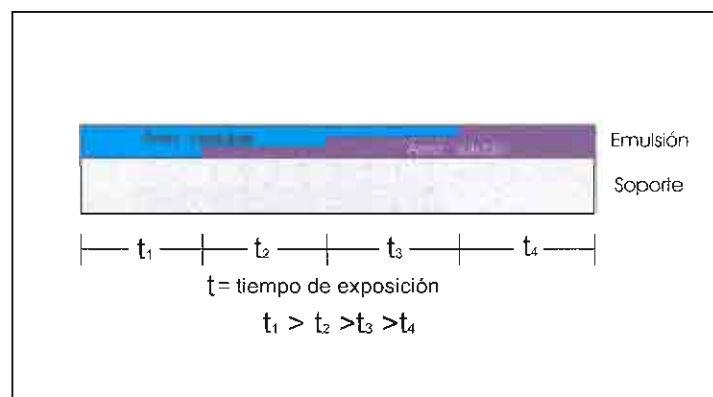


Fig. 2. Esquema de cómo se produce la insolubilización de la emulsión bajo tiempos diferentes de exposición a la luz ultravioleta, de acuerdo al montaje seguido en este ensayo.

Por otra parte, en aquellas áreas en las que el tiempo de exposición a la luz a sido superior a diez minutos y por tanto se ha insolubilizado la totalidad de la capa de emulsión (Fig. 3), se ponen de manifiesto las posibles irregularidades superficiales que tienen su origen en la distribución de la emulsión sobre el soporte en la fase de emulsionado; áreas de igual porcentaje de punto, *c* y *d*, obtenidas ambas bajo un mismo tiempo de exposición, aparecen con distinta intensidad de color, así, el área *c* presentará una menor intensidad de color que el área *d* (Ley de Lambert-Beer).

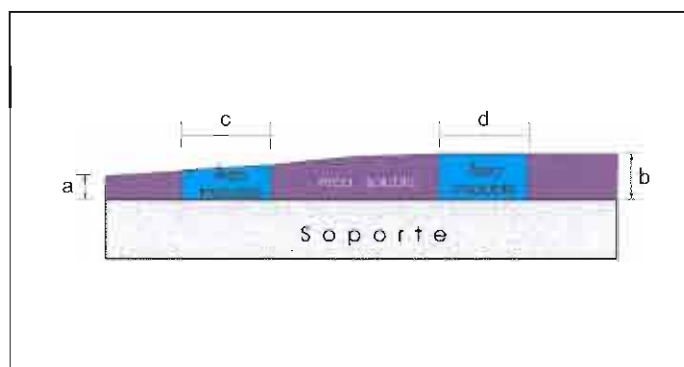


Fig. 3. Esquema que muestra la diferente percepción de dos áreas de punto iguales como consecuencia de una distribución irregular de la emulsión en la etapa de emulsionado.

El conjunto de estos resultados llevan a la conclusión de que el procedimiento seguido en el montaje del negativo tramado y el soporte emulsionado, para realizar su posterior exposición a la luz ultravioleta, no es adecuado y debe ser modificado.

Ensayo 6

Se modifica la colocación del soporte emulsionado y del negativo tramado para la realización de la exposición; esta vez, la emulsión del negativo tramado se pone en contacto con el soporte de la emulsión.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en los Ensayos 2, 3, 4 y 5: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Siguiendo el mismo procedimiento que el utilizado en el Ensayo 4, por nivelación de precisión de la superficie emulsionada.

c) *Exposición*: El soporte emulsionado se coloca en contacto con un negativo tramado de distintos porcentajes de punto²⁰⁸, de forma que la emulsión del negativo tramado esté en contacto con el soporte emulsionado, y ambos, a su vez, entre dos

*Emulsión con
soporte*

²⁰⁸ Para la realización de estos ensayos se ha utilizado un negativo tramado especialmente preparado a tal efecto, y que contiene todos los porcentajes de punto a considerar del 0 al 100%.

cristales transparentes, de manera que se ejerza una presión que garantice un contacto íntimo de sus superficies (Fig. 4). De esta forma, la luz incide en la emulsión a través del soporte que la sustenta. El conjunto así preparado es expuesto bajo la luz ultravioleta a distintos tiempos de exposición, de acuerdo a los valores indicados en el Ensayo 5.

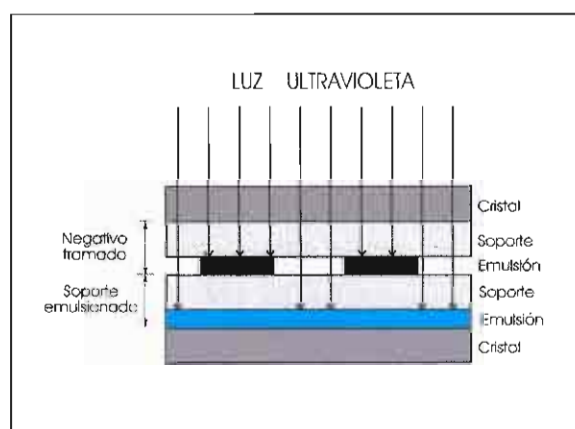


Fig. 4. Esquema de la disposición de los elementos del montaje para realizar la exposición a la luz ultravioleta del soporte emulsionado.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz, utilizando como revelador un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos.

e) Transferencia: No se realiza.

Los resultados obtenidos tras el procesado son satisfactorios en cuanto a la problemática surgida en el Ensayo 5, respecto al desprendimiento de la imagen de puntos en el proceso de revelado.

La insolubilización se produce en el interior de la capa de emulsión, es decir, en la parte que está en contacto con el soporte (Fig. 5), por lo que en la etapa de revelado pueden ser eliminadas las áreas más externas que permanecen solubles, sin que éstas arrastren a las áreas insolubilizadas.

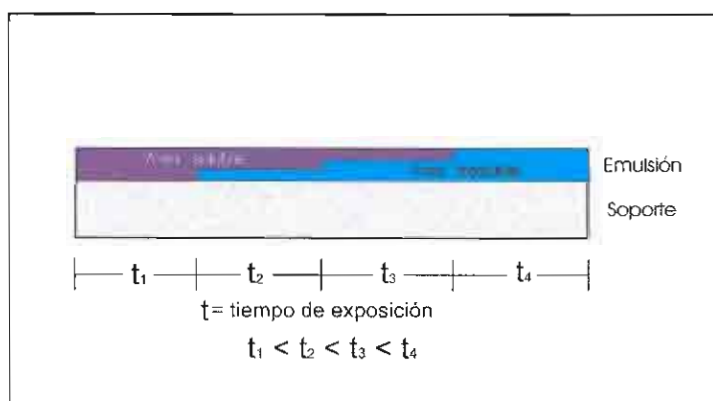


Fig. 5. Esquema de cómo se produce la insolubilización de la emulsión bajo tiempos diferentes de exposición a la luz ultravioleta, de acuerdo al montaje seguido en este ensayo.

Por otra parte, la realización de la exposición a través del soporte, permite subsanar las posibles irregularidades producidas en la distribución de la emulsión durante la etapa de emulsionado; esto se cumple siempre que el tiempo de exposición²⁰⁹ sea inferior al necesario para alcanzar la insolubilización de la totalidad de la capa de emulsión (Fig. 6). La acción de la luz durante un determinado tiempo de exposición permitirá obtener una imagen de puntos homogénea en toda su superficie; es decir, las áreas insolubilizadas, *b* y *c*, obtenidas tras la etapa de exposición, presentarán la misma intensidad de color.

²⁰⁹ Señalar que en este ensayo no se ha pretendido optimizar el tiempo de exposición; es decir, los tiempos ensayados únicamente han tenido como finalidad comprobar la adecuación de la disposición del soporte emulsionado con respecto al negativo tramado.

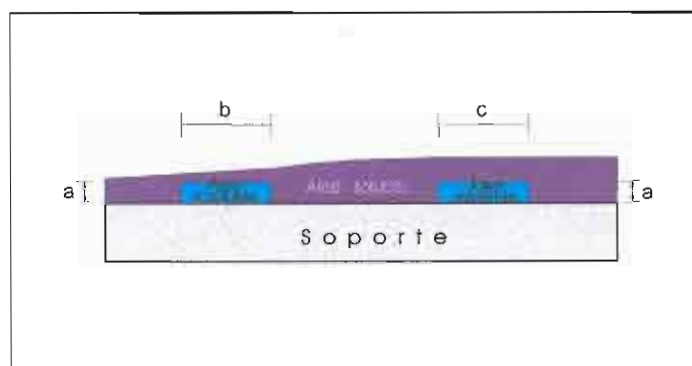


Fig. 6. El esquema muestra cómo con determinados tiempos de exposición se pueden obtener resultados semejantes a pesar de una cierta irregularidad en la distribución de la capa de emulsión.

Estos resultados llevan a la conclusión de que, el método establecido para proceder a la exposición de la emulsión es el adecuado.

Ensayo 7

Si bien para establecer la idoneidad del método de exposición ha sido necesario realizar el procesado de la película, realmente la optimación de esta etapa se inicia en el Ensayo 7, en el que se estudia con más detenimiento el proceso de lavado y secado de la película.

Las etapas restantes se realizan de manera análoga a la descrita en el Ensayo 6.

a) Soporte: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Igual que en los Ensayos 2, 3, 4, 5 y 6: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%),

pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición:* Se realiza de la misma forma que en el Ensayo 6, es decir, efectuando la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

d) *Procesado:* El soporte emulsionado y expuesto a la luz, se revela de manera análoga al Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos.

Seguidamente, se procede a un lavado por inmersión en agua corriente por espacio de 15 minutos, y a su posterior secado. El proceso de secado se realiza a temperatura y humedad ambiente, colocando el soporte con la correspondiente imagen de puntos obtenida en posición horizontal.

*Secado en
posición
horizontal*

e) *Transferencia:* No se realiza.

Los resultados obtenidos tras el proceso de secado no resultan idóneos, por lo que no es posible proceder a su transferencia.

Una vez procesado el soporte emulsionado, y dependiendo de su porcentaje de punto, la imagen resultante presenta distintos comportamientos en la etapa de secado. Así, los resultados son válidos en las áreas de porcentaje de punto inferiores a un 50%; por el

*Desprendimiento
de la imagen*

contrario, en porcentajes superiores al 50% la imagen de puntos tiende a levantarse del soporte.

Este último comportamiento puede ser debido a las tensiones generadas por la contracción del aglutinante de la emulsión (gelatina), al perder humedad durante su secado; por ello, este efecto es más acentuado a medida que el porcentaje de punto aumenta, siendo mayor en las áreas del 90% (mayor número de puntos de conexión del aglutinante entre puntos de imagen adyacentes), prácticamente nulo en las del 50% (menor número de puntos de conexión del aglutinante entre puntos de imagen adyacentes), y nulo en los porcentajes inferiores al 50% (no existen nexos de unión entre puntos adyacentes).

También es posible, que el desprendimiento de la imagen sea debido a pérdidas higrométricas desiguales en determinadas áreas de la imagen, durante el proceso de secado.

Como solución al problema de desprendimiento de la imagen del soporte, *a priori*, se pueden plantear distintas alternativas pudiendo combinarse algunas de ellas. Señalar que las soluciones que a continuación se proponen, afectan a las etapas supuestamente optimadas en los ensayos anteriores; es decir, a partir de estos últimos resultados, ha sido necesario plantearse la modificación de las condiciones ya establecidas.

*Alternativas
frente al
desprendimiento*

Las distintas alternativas planteadas han sido las siguientes:

*Secado
uniforme*

- Realizar el proceso de secado de forma uniforme, sin que se produzcan durante el mismo áreas de distinto contenido higrométrico que puedan originar tensiones desiguales.

*Disminuir el
aglutinante*

- Disminuir la proporción de aglutinante (gelatina) utilizado en la preparación de la emulsión, de manera que en el proceso de secado se ejerzan menos tensiones de contracción.

- Generar una microtextura en la superficie del soporte, de forma que permita una mínima adherencia superficial de la imagen, aunque suficiente para resistir las tensiones de contracción que aparecen en la fase de secado.

Microtextura

- Incrementar la cantidad de agente plastificante.

*Aumentar
plastificantes*

Todas estas posibilidades son puestas en práctica en los siguientes ensayos.

Otro aspecto a destacar, dentro de los resultados conseguidos, es que la imagen de puntos obtenida presenta un bajo contraste entre las áreas con y sin imagen, llegando a apreciarse un cierto velo cromático en éstas últimas.

Bajo contraste

Respecto a las causas de la formación del velo cromático en las áreas sin imagen, existen diferentes posibilidades:

- Un defecto de aglutinante, responsable de la precipitación del pigmento y en consecuencia de que la imagen sea menos contrastada.
- Un exceso de sensibilizador que, durante la etapa de exposición, aumentará la sensibilidad de la emulsión, a posibles efectos de luz indirecta no formadora de imagen. Un exceso de este componente también hará que pueda ser sensible a la luz ambiental, bajo la que se desarrollan las operaciones de montaje del soporte emulsionado con el negativo tramado, o bien el propio proceso de secado de la emulsión.

Velo cromático

Asimismo, señalar sus efectos sobre la disminución del contraste de la imagen.

En relación a la posibilidad de precipitación del pigmento, tanto por defecto de aglutinante como por exceso del propio pigmento, hay que señalar que si esta fuera la razón, el velo resultante en la etapa de revelado debería desaparecer arrastrado por el agua del revelado; por lo tanto, el velo probablemente se deba a una insolubilización de la emulsión, debido a la acción de una luz parásita, no formadora de imagen: luz ambiente o luz reflejada.

Ensayo 8

*Secado
uniforme*

En la etapa de procesado se pretende realizar un secado uniforme, y evitar que aparezcan áreas de diferentes contenidos de humedad, responsables de la aparición de tensiones de contracción y, a su vez, causantes del desprendimiento de la imagen de puntos. Las restantes etapas son iguales a las desarrolladas en el Ensayo 6.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en los Ensayos 2, 3, 4, 5, 6 y 7: agua (77,8%), gelatina (14,7%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Se efectúa de la misma forma que en el Ensayo 6, realizando la exposición a través del soporte emulsionado en

contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

- d) *Procesado*: Igual que en el Ensayo 5: se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz, en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos.

Seguidamente, se procede a un lavado por inmersión en agua corriente, por espacio de 15 minutos, y posterior secado. El proceso de secado se realiza a temperatura y humedad ambiente, colocando el soporte con la imagen obtenida de puntos, en posición vertical, y apoyada sobre el soporte.

*Secado en
posición
vertical*

- e) *Transferencia*: No se realiza.

Los resultados obtenidos, aunque mejores que los del ensayo anterior, continúan sin ser satisfactorios; se sigue produciendo el desprendimiento de la imagen de puntos del soporte, para los porcentajes de punto superiores al 50%.

Estos resultados permiten deducir que no es suficiente la variación introducida en la metodología de secado, por lo que se opta por la modificación de otra de las alternativas planteadas en el Ensayo 7; concretamente, la disminución de la concentración de aglutinante (gelatina). De esta forma será posible disminuir las tensiones de contracción producidas en el proceso de secado por pérdida de humedad.

Ensayo 9.

Con el fin de eliminar el problema del desprendimiento de la imagen de puntos del soporte, se disminuye la concentración de aglutinante (gelatina) de la emulsión, al mismo tiempo que se mantiene el proceso de secado seguido en el Ensayo 8, en posición vertical.

Para la determinación de la concentración idónea de aglutinante, se han realizado distintos ensayos en los que se ha ido disminuyendo sistemáticamente la concentración; ha este respecto ha sido necesario tener en cuenta la mínima cantidad de aglutinante necesaria para que el pigmento no precipite. En este ensayo se recoge la concentración de gelatina considerada óptima.

a) *Soporte:* Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión:*

Componentes-Dosificación: Agua (88,2%), gelatina (4,3%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición:* Se realiza de la misma forma que en el Ensayo 6, es decir, efectuando la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

Menor
concentración
de gelatina:
4,3%

d) *Procesado*: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia*: No se realiza.

Los resultados obtenidos mejoran notablemente, si bien en la imagen de puntos obtenida con porcentajes superiores al 50%, aunque en menor cantidad que en los ensayos anteriores, continua produciéndose un cierto desprendimiento parcial de la imagen.

A partir de estos resultados y ante la imposibilidad de disminuir aún más la concentración de aglutinante sin que precipite el pigmento adicionado, se considera la introducción de otra de las alternativas planteadas en el Ensayo 7.

Ensayo 10

Se mantiene la concentración de gelatina determinada en el Ensayo 9 y se opta por desarrollar otra posible solución ante el problema de desprendimiento de la imagen; en concreto, se pretende crear en el soporte a emulsionar una microtextura que permita una adherencia mínima de la imagen durante la fase de secado, de manera que contrarreste la tensiones de contracción del aglutinante.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en el Ensayo 1, láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm; en la superficie de la lámina de poliéster donde se aplica la

Microtextura

emulsión, se genera una microtextura mediante un abrasivo metalográfico de grano 800.

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 9: agua (88,2%), gelatina (4,3%), sacarosa (2,5%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (1,5%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) Exposición: Se realiza de forma análoga al Ensayo 6, efectuando la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

Inconveniente

Los resultados obtenidos mejoran notablemente en lo que se refiere al desprendimiento de la imagen de puntos, salvo en aquellos porcentajes muy elevados (80 - 90%).

La microtextura generada parece insuficiente, por lo que sería necesario su incremento, lo cual por otra parte no es posible, ya que en los resultados obtenidos se observa que la microtextura creada en el soporte influye de forma negativa en la calidad de la imagen de puntos reproducida; concretamente, su existencia provoca una difusión de la luz en la etapa de exposición, y en consecuencia la nitidez de los puntos y de la imagen en su conjunto, en general, disminuye.

Ensayo 11

Se considera la alternativa planteada en el Ensayo 7, relacionada con la modificación de la cantidad de plastificante adicionado a la emulsión. Para su determinación se realizan distintos ensayos variando de forma sistemática la concentración, mostrándose en este ensayo la dosificación que se considera adecuada.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm; sin crear una textura en su superficie.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Agua (86,7%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,7%), tensoactivo (0,1%).

*Aumento de la
concentración de
plastificantes*

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Se realiza de la misma forma que en el Ensayo 6, efectuando la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de

punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

Finalizada la etapa de secado, se observa que la imagen de puntos obtenida no se desprende del soporte, independientemente de su porcentaje de punto; por tanto, bajo este aspecto, los resultados obtenidos se pueden considerar positivos.

... ..

Una vez resuelto este problema el siguiente objetivo es lograr un mayor contraste en las áreas de imagen, y eliminar el tenue velo cromático que aparece en las áreas sin imagen.

Esta cuestión se intenta resolver modificando la relación dicromato-gelatina; a este respecto es necesario tener en cuenta que concentraciones elevadas de dicromato producen imágenes poco contrastadas y, por el contrario, concentraciones bajas, producen imágenes más contrastadas (Crawford, 1979:184; Glafkides, 1967:664; Nadeau, 1986:14; Zelich, 1995:74).

Ensayo 12

Se disminuye la cantidad de dicromato en la emulsión; la determinación de su concentración óptima se realiza mediante ensayos sucesivos en los que se varía su valor hasta llegar a aquél para el cual los resultados se consideran adecuados; esta concentración es la que se recoge en este ensayo. Las restantes etapas del proceso se mantienen igual que en el ensayo anterior.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm; sin crear una microtextura en su superficie.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Agua (87%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

*Menor
concentración
de dicromato:
0,4%*

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Se realiza de forma análoga al Ensayo 6, mediante exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. Los tiempos de exposición corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

d) *Procesado*: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8:

lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

La concentración de dicromato utilizada permite obtener una imagen de puntos de alto contraste; sin embargo, siguen apareciendo ciertas veladuras cromáticas en las áreas de no imagen, las cuales deberían ser totalmente transparentes.

*Causas del
velo cromático*

En un principio, se considera que el velo cromático puede ser causado por la acción de luz no formadora de imagen. Esta luz puede tener distintos orígenes: la luz ambiente o la luz ultravioleta.

Luz ambiente

Respecto a la primera -luz ambiente-, este efecto puede aparecer al incidir ésta sobre la emulsión en el desarrollo de diferentes etapas del proceso; concretamente, secado de la emulsión tras la etapa de emulsionado, montaje de la emulsión con el negativo tramado, o bien al inicio del revelado.

*Luz
ultravioleta*

En cuanto a la segunda causa -luz ultravioleta-, este efecto puede aparecer en el proceso de exposición (Fig. 7), y sería debido a la luz reflejada indirectamente por las paredes de la cámara²¹⁰ de exposición.

Estas hipótesis son las que se comprueban en los ensayos siguientes.

²¹⁰ Las paredes de la cámara de exposición son metálicas de color plateado, lo cual hace que se comporten como superficies reflectoras de las radiaciones de luz que inciden sobre las mismas.

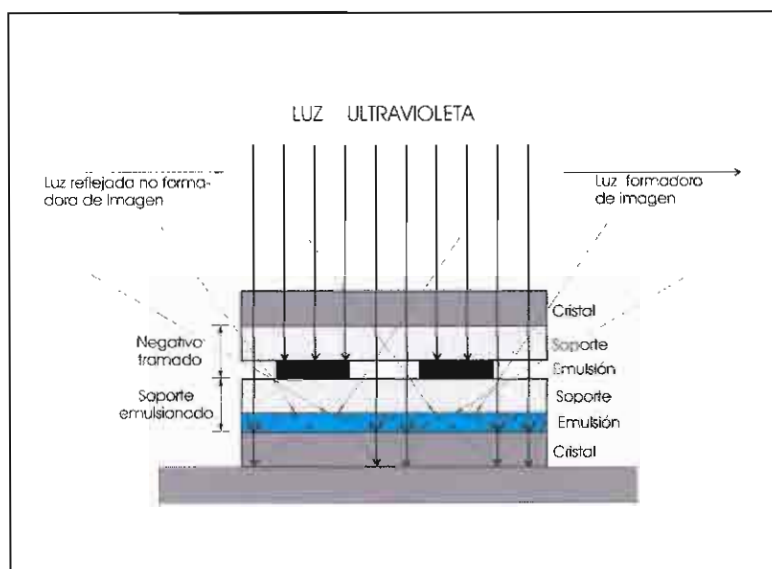


Fig. 7. El gráfico muestra en trazo discontinuo los rayos de luz reflejados, no formadores de imagen, que pueden llegar a alcanzar la emulsión y generar un velo cromático.

Ensayo 13

Para determinar si el velo cromático es originado por la luz ambiental bajo la cual se desarrollan las etapas de secado de la emulsión, montaje para su exposición o bien antes del revelado, se procesa un soporte emulsionado sin ser previamente expuesto a la luz ultravioleta, aunque simulando el resto de las etapas.

Luz ambiente

a) *Soporte:* Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión:*

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 12: agua (87%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) Exposición: No se realiza.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

Una vez procesado el soporte emulsionado, en los resultados obtenidos no aparece el velo cromático en las áreas sin imagen, lo que induce a pensar que, su origen no es la luz ambiente bajo la cual se desarrollan la distintas etapas del proceso.

Ensayo 14

Luz
ultravioleta
reflejada

Se pretende comprobar como posible causa del velo cromático la segunda hipótesis planteada en el Ensayo 12, concretamente el efecto de la luz ultravioleta reflejada indirectamente por la cámara durante la

exposición. Para ello, se procede a la colocación de una lámina de color negro mate en la parte inferior del montaje, entre el soporte emulsionado y el cristal, de manera que los haces de luz que alcancen esta lámina no sean reemitidos de nuevo hacia la emulsión; igualmente, se colocan láminas de color negro mate en las paredes de la cámara de exposición, con el fin de que las radiaciones de luz indirectas que incidan sobre las mismas no sean reflejadas.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 12: agua (87%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento cian (2,5%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Al igual que en el Ensayo 6, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto. En el montaje de estos elementos para la exposición (Fig. 8), se coloca entre el soporte emulsionado (emulsión) y el cristal una lámina de color negro mate. Este mismo tipo de material se coloca en las paredes laterales de la cámara de exposición. Los tiempos de exposición, corresponden a los valores indicados en el Ensayo 5.

*Lámina de
color negro*

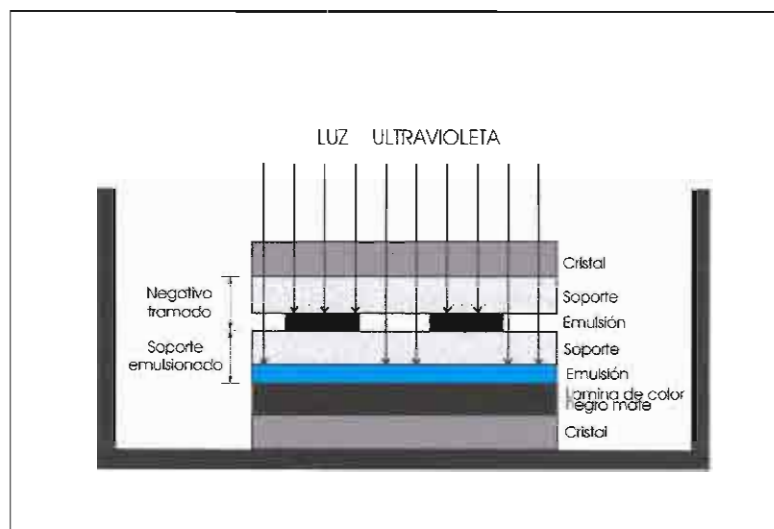


Fig. 8. Esquema que muestra la disposición de los distintos elementos que intervienen en el montaje. La colocación de láminas de color negro mate impiden la reflexión de luz indeseada (no formadora de imagen), que pueda alcanzar la emulsión.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

Los resultados demuestran que el velo cromático que aparecía en las áreas de no imagen en los ensayos anteriores, en este caso no existe, lo que confirma la hipótesis planteada en cuanto a que tenía su origen en la reflexión indirecta de luz ultravioleta no formadora de imagen.

... ..

Una vez optimadas las distintas variables relacionadas con las diferentes etapas del proceso, la siguiente cuestión que se plantea es determinar las cantidades correctas de cada uno de los pigmentos que forman parte de las correspondientes emulsiones (amarillo, magenta y cian). Su determinación se lleva a cabo variando sistemáticamente los tiempos de exposición y, si es necesario, la concentración inicial de pigmento; una vez procesada y obtenida la imagen de puntos, las áreas de porcentaje de punto del 100% (masa) son medidas densitométricamente, de forma que los valores obtenidos para cada uno de los colores amarillo, magenta y cian, medidos a través de su filtro de color complementario azul, verde y rojo, sean próximos a la unidad; todo ello con el fin de obtener un equilibrio cromático de los mismos. Siguiendo este criterio se han realizado los ensayos convenientes; a continuación se muestran los resultados correspondientes a los ensayos considerados concluyentes.

Ensayo 15

Se pretende optimar la dosificación de pigmento de color amarillo y el tiempo de exposición de la correspondiente emulsión. Con esta finalidad se ensaya distintos tiempos, variando sus valores a intervalos regulares.

*Amarillo:
exposición y
dosificación*

Para que un tiempo de exposición se considere correcto, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Debe permitir una reproducción recíproca exacta de la imagen de puntos del negativo tramado sobre el soporte emulsionado²¹¹.

²¹¹ Una reproducción recíproca exacta, está referida a la obtención, por ejemplo, de una imagen de puntos del 30% a partir de un negativo tramado del 70% de porcentaje de punto; una imagen del 60% de un negativo del 40%, etc.

- Una vez procesada la emulsión, las áreas de imagen correspondientes al 100% de porcentaje de punto (masa-amarillo), deben presentar una medida densitométrica, a través de su filtro complementario azul, próxima a la unidad.

A su vez, la medida densitométrica de esta misma masa (amarillo), debe ser mínima²¹² a través de los filtros de color verde y rojo.

La densidad se puede variar modificando el tiempo de exposición; señalar que esta modificación se sitúa dentro del intervalo que permita obtener una imagen recíproca del negativo tramado. Por esta razón, cuando es necesario lograr variaciones importantes de densidad, se recurre a disminuir o incrementar la concentración del pigmento que forma parte de la emulsión.

Tras numerosos ensayos, han sido optimados los tiempos de exposición y la concentración del pigmento para la emulsión de color amarillo. Los resultados finales se recogen a continuación:

- a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Amarillo:
concentración
1,7%

Componentes-Dosificación: Agua (87,8%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento amarillo²¹³ (1,7%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

²¹² La limitación en cuanto a la existencia de pigmentos amarillos que se puedan considerar puros en su absorción selectiva hace que los valores densitométricos obtenidos a través de los filtros verde y rojo no sean nulos.

²¹³ El pigmento utilizado es comercializado por la marca *Rowney*, con el nombre de *Yellow Permanent*; corresponde a un compuesto monoazoico con componentes diazo y acetoacetarilamidas.

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición:* Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. Se realiza una tira de pruebas con distintos tiempos de exposición, que oscilan de 32 a 1024 segundos, siguiendo un incremento en progresión geométrica ($a_n = a_1 \cdot r^{n-1}$) siendo la razón 2; concretamente, los tiempos han sido: 32", 64", 128", 256", 512" y 1024".

d) *Procesado:* Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia:* No se realiza.

Se han obtenido resultados satisfactorios con un tiempo de exposición de 10 minutos y 30 segundos, y con la dosificación de pigmento amarillo indicada (1,7%).

*Amarillo: tiempo
de exposición
10' 30"*

Para estos valores de tiempo de exposición y concentración de pigmento, los valores de los porcentajes de punto obtenidos en la imagen, una vez procesada, corresponden a los valores recíprocos de los porcentajes de punto del negativo tramado utilizado en la exposición. Asimismo, la densidad de color, medida a través del filtro complementario azul es de 0,78; próxima al valor teórico establecido(1).

Ensayo 16

*Magenta:
exposición y
dosificación*

Se pretende optimar la dosificación de pigmento de color magenta y el tiempo de exposición de la correspondiente emulsión. Al igual que en el caso anterior, se han ensayado distintos tiempos de exposición, variando sus valores en incrementos regulares de tiempo.

El tiempo de exposición óptimo será aquel para el cual se logre:

- Una reproducción recíproca exacta de la imagen de puntos del negativo tramado sobre el soporte emulsionado.
- Las áreas de imagen del 100% de porcentaje de punto (masa-magenta), una vez procesadas, presenten una medida densitométrica, a través de su filtro complementario verde, próxima a la unidad.

A su vez, la densidad de esta misma área de imagen, a través de los filtros de color azul y rojo, debe ser prácticamente nula²¹⁴.

De la misma forma que para la emulsión de color amarillo, se puede lograr una cierta modificación de la densidad, variando el tiempo de exposición dentro de un intervalo de tolerancia, que permita obtener una imagen recíproca del negativo tramado. Si es necesario conseguir variaciones más importantes, se recurre a modificar la concentración de pigmento que forma parte de la emulsión.

Si bien han sido numerosos los ensayos realizados, de forma resumida, en este apartado se recogen únicamente los valores de concentración de pigmento y tiempo de exposición, considerados óptimos para la obtención de la emulsión magenta.

²¹⁴ Al igual que para el color amarillo, la falta de pigmentos de color magenta que se puedan considerar puros en su absorción selectiva, hace que los valores densitométricos obtenidos a través de los filtros azul y rojo no sean nulos.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta²¹⁵ (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

*Magenta:
concentración
3%*

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: De forma análoga al Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. Se realiza una tira de pruebas con distintos tiempos de exposición, que oscilan de 32 a 1024 segundos, siguiendo un incremento en progresión geométrica ($a_n = a_1 \cdot r^{n-1}$) siendo la razón 2; concretamente, los tiempos han sido: 32", 64", 128", 256", 512" y 1024".

d) *Procesado*: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia*: No se realiza.

²¹⁵ El pigmento utilizado presenta una composición química a base de quinacridona (dimetil quinacridona); es comercializado por la marca *Talens* con el número de referencia 43.

*Magenta: tiempo
de exposición 9'*

Se han obtenido resultados satisfactorios con un tiempo de exposición de 9 minutos; y con la dosificación de pigmento magenta indicada (3%).

Para estos valores de tiempo de exposición y concentración de pigmento, los porcentajes de punto obtenidos en la imagen, una vez procesada, corresponden a los valores recíprocos de los porcentajes de punto del negativo tramado utilizado en la exposición. Asimismo, la densidad de color, medida a través del filtro complementario verde es de 0,91; próxima al valor teórico establecido (1).

Ensayo 17

*Cian:
exposición y
dosificación*

Se pretende optimar la dosificación de pigmento de color cian y el tiempo de exposición de la correspondiente emulsión. Al igual que en los Ensayos 15 y 16, se han ensayado distintos tiempos de exposición, variando sus valores en incrementos regulares de tiempo.

El tiempo de exposición óptimo será aquel para el cual se logre:

- Una reproducción recíproca exacta de la imagen de puntos del negativo tramado sobre el soporte emulsionado.
- Las áreas de imagen del 100% de porcentaje de punto (masa-cian), una vez procesadas, presenten una medida densitométrica, a través de su filtro complementario rojo, próxima a la unidad.

A su vez, la densidad de esta misma área de imagen, a través de los filtros de color azul y verde, debe ser mínima²¹⁶.

²¹⁶ Al igual que para el color amarillo y magenta, la falta de pigmentos de color cian que se puedan considerar puros en su absorción selectiva, hace que los valores densitométricos obtenidos a través de los filtros azul y verde no sean nulos.

De la misma forma que para la emulsión de color amarillo y magenta, se puede lograr una cierta modificación de la densidad, variando el tiempo de exposición dentro de un intervalo de tolerancia, que permita obtener una imagen recíproca del negativo tramado. Si es necesario conseguir variaciones más importantes, se recurre a modificar la concentración de pigmento que forma parte de la emulsión.

De los numerosos ensayos realizados, en este apartado únicamente se hace referencia a aquellos valores de tiempos de exposición y concentración de pigmento, para los que se han logrado resultados satisfactorios.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Agua (87,8%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento cian (1,7%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Cian:
concentración
1,7%

Emulsionado: Se sigue el mismo procedimiento que el realizado en el Ensayo 4, por nivelación de precisión de la superficie emulsionada.

c) *Exposición*: Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. Se hace una tira de pruebas con distintos tiempos de exposición, que oscilan de 32 a 1024 segundos, siguiendo un incremento en progresión

geométrica ($a_n = a_1 \cdot r^{n-1}$) siendo la razón 2; concretamente, los tiempos han sido: 32", 64", 128", 256", 512" y 1024".

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: No se realiza.

*Cian: tiempo de
exposición 5'30"*

Se han obtenido resultados satisfactorios con un tiempo de exposición de 5 minutos y 30 segundos, y con la dosificación de pigmento cian indicada (1,7%).

Para estos valores de tiempo de exposición y concentración de pigmento, los valores de los porcentajes de punto obtenidos en la imagen, una vez procesada, corresponden a los valores recíprocos de los porcentajes de punto del negativo tramado utilizado en la exposición. Asimismo, la densidad de color, medida a través del filtro complementario rojo es de 1,10; próxima al valor teórico establecido(1).

... ..

Una vez optimados los tiempos de exposición y concentración de pigmento para cada una de las tres emulsiones de color, el objetivo siguiente es lograr la adecuada preparación de la imagen de puntos obtenida para proceder a su transferencia.

Ensayo 18

Se plantea la posibilidad de transferir la imagen de puntos obtenida, mediante la utilización de un adhesivo termoplástico, concretamente de un copolímero acrílico, comercializado como Paraloid® B-72.²¹⁷

Paraloid® B-72

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 µ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, según se determinó en el Ensayo 16, para la emulsión de color magenta.

d) *Procesado*: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua

²¹⁷ El Paraloid® B-72 químicamente es un copolímero de metacrilato de etilo / acrilato de metilo en la proporción 70/30; es producido por ROHM and HAAS, Rohm & Haas Co., Independence Mall West, Philadelphia, Pa. 19105, (Estados Unidos de América).

a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

- e) *Transferencia*: Se realizan distintas pruebas utilizando como adhesivo Paraloid® B-72, en distintas concentraciones dentro del intervalo del 5 - 20% y disolventes (acetona y xileno), aplicado con pincel y pulverizado.

Los resultados obtenidos respecto a la transferencia de la imagen de puntos no son satisfactorios; concretamente, se han observado los siguientes inconvenientes:

- a) La aplicación del adhesivo en disolución debe realizarse sobre el área donde se desea transferir la imagen de puntos. Si se aplica directamente sobre la imagen de puntos, el adhesivo tiende a penetrar a su través y llega a alcanzar el soporte que sustenta la imagen; de esta forma la imagen queda adherida al propio soporte, circunstancia que impide su transferencia (Fig.9).

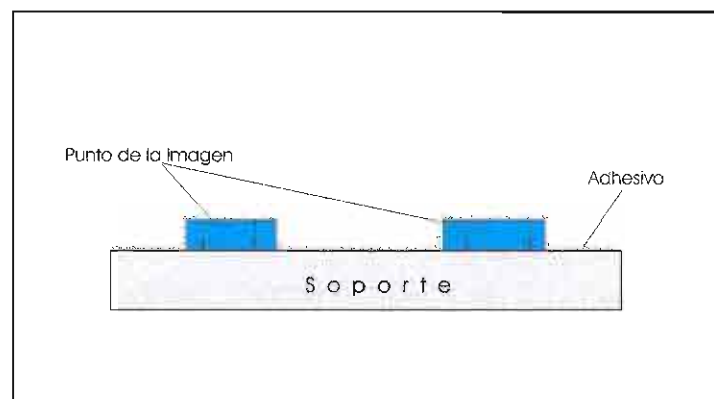


Fig. 9. El adhesivo aplicado sobre la superficie de la imagen de puntos tiende a penetrar a su través, adhiriendo la imagen al soporte.

- b) El poder de adhesión del adhesivo utilizado no permite la transferencia de los porcentajes de punto superiores al 50%; el comportamiento observado podría interpretarse como si la fuerza de unión que existe entre los puntos en estos porcentajes, fuese superior a la fuerza de adhesión del adhesivo (Fig. 10).

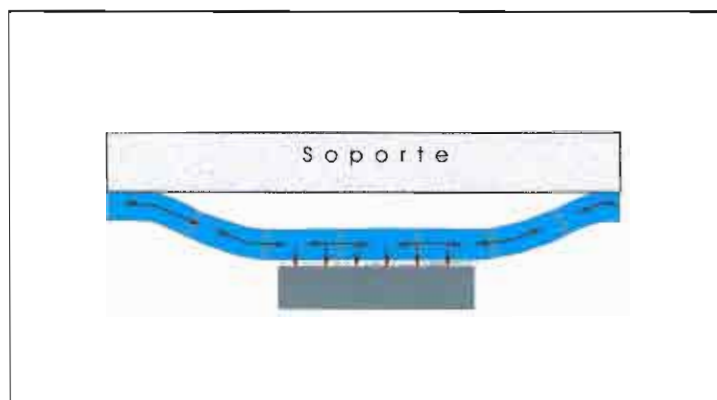


Fig. 10. El gráfico muestra cómo la fuerza de unión entre los puntos de la imagen (porcentajes de punto elevados) arrastra a los puntos adyacentes e impide realizar la transferencia del área de punto deseada.

Ensayo 19

Se procede a transferir la imagen de puntos obtenida, mediante la utilización de un adhesivo termoplástico, concretamente de una dispersión de Primal® AC-33.²¹⁸

Primal® AC-33

- a) *Soporte:* Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

²¹⁸ El Primal® AC-33 es una dispersión del copolímero metacrilato de metilo / acrilato de etilo en la proporción 40/60; es producido por ROHM and HAAS, Rohm & Haas Co., Independence Mall West, Philadelphia, Pa. 19105, (Estados Unidos de América).

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) Exposición: Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, según se determinó en el Ensayo 16.

d) Procesado: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) Transferencia: Se realizan distintas pruebas utilizando como adhesivo una dispersión acuosa de Primal® AC-33 diluida en agua en distintos porcentajes, dentro del intervalo 5 - 25%; se ha aplicado con pincel y pulverizado.

Se observa el mismo comportamiento; la aplicación de la dispersión sobre la imagen de puntos, incrementa su adherencia al

soporte e impide su transferencia. Esto puede ser debido a una mayor afinidad de la dispersión (agua) con respecto a la imagen de puntos (gelatina)²¹⁹.

Asimismo, este sistema tampoco permite la transferencia de porcentajes de punto superiores al 50%.

Ensayo 20

Se considera la posibilidad de transferir la imagen de puntos obtenida, mediante la utilización de adhesivos sensibles a la presión²²⁰: Acronal® V205²²¹, Acronal® 85D, Scotch-Grip® 7434, Scotch-Grip® 4235, Mowilith® DM131, Mowilith® LT515 y Mowilith® DM137.

*Adhesivos
sensibles a la
presión*

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 µ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

²¹⁹ La estructura fuertemente polar de ambos medios (agua-gelatina) y su tendencia a formar enlaces por puentes de hidrógeno facilita la penetración del adhesivo a través de la imagen de puntos.

²²⁰ El término de adhesivos sensibles a la presión se refiere a aquellos que son capaces de formar una unión adhesiva con una superficie solamente por contacto y bajo una ligera presión. Se caracterizan por tener un peso molecular medio bajo y una temperatura de transición vítrea (Tg) inferior a la temperatura ambiente. Los adhesivos utilizados son comercializados por las siguientes marcas: Acronal® V205 y Acronal® 85D por Basf Española S. A., Velázquez 140 bis, Madrid; los adhesivos Scotch-Grip® 4235 y Scotch-Grip® 7434 por 3M España S.A., Juan Ignacio Luca de Tena, 19-25, 28027, Madrid; Mowilith® DM131, Mowilith® LT515 y Mowilith® DM137 por Hoechst Iberica, S.A., Vía Augusta, 252-260, 08017, Barcelona.

²²¹ Este tipo de adhesivo en concreto ha sido experimentado para realizar forraciones en pintura sobre lienzo (Roche, 1996:45-52).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición:* Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, según se determinó en el Ensayo 16.

d) *Procesado:* Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia:* Se realizan distintas pruebas utilizando como adhesivos los siguientes dispersiones acuosas de ésteres acrílicos: Acronal® V205, Acronal® 85D, Scotch-Grip® 7434, Scotch-Grip® 4235, Mowilith® DM131, Mowilith® LT515 y Mowilith® DM137; todas estas dispersiones han sido diluidas en agua en distintos porcentajes, dentro del intervalo del 10 al 50%.

Acronal® V205,
Acronal® 85D,
Scotch-Grip® 7434,
Scotch-Grip® 4235,
Mowilith® DM131,
Mowilith® LT515 y
Mowilith® DM137

Los resultados obtenidos con los distintos adhesivos y concentraciones experimentadas, no son satisfactorios. Al igual que en los ensayos anteriores, y por la misma razón, la aplicación de este tipo de adhesivos debe realizarse sobre el área donde se desea transferir la imagen de puntos y no sobre la imagen de puntos.

Por otra parte, en la transferencia de las áreas de porcentaje de punto superiores al 50%, al estar los puntos unidos entre sí, no se desprende únicamente del soporte la imagen de puntos en contacto con el adhesivo, sino que arrastra consigo las áreas contiguas; en consecuencia se produce una fragmentación de forma, que no se corresponde con las áreas predeterminadas inicialmente.

El conjunto de los resultados obtenidos en los Ensayos 18, 19 y 20, lleva a plantear las siguientes conclusiones en cuanto a los problemas concretos que es necesario resolver para lograr una óptima transferencia:

- Adecuada selección del adhesivo y su correcta aplicación, de manera que sea posible su óptima transferencia.
- Reducir la fuerza de adhesión existente entre los puntos de porcentaje elevado, de forma que, en aquellos casos en los que su valor supere el 50%, sea posible lograr una óptima transferencia.

A partir de las conclusiones anteriores, se plantea la conveniencia de disminuir la fuerza de unión existente entre los puntos (en los porcentajes superiores al 50%). Para conseguir este objetivo, y partiendo de que no es posible disminuir la concentración del aglutinante (gelatina), puesto que si esto se hiciera el pigmento precipitaría, se opta por una solución alternativa consistente en la fragmentación parcial de las cadenas moleculares de la gelatina que aglutina la imagen.

Ensayo 21

Tiene por objetivo hidrolizar las cadenas moleculares de gelatina, de manera que sea mínima la fuerza de adhesión entre los puntos de la

*Hidrolización
de las cadenas
moleculares*

imagen de porcentajes de punto elevados. Con esta finalidad, la imagen de puntos se trata con una solución enzimática.

a) *Soporte*: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) *Emulsión*:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición*: Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, de acuerdo al Ensayo 16.

d) *Procesado*: Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia*: Se somete la imagen de puntos a una hidrolización enzimática parcial, mediante tratamiento con una

solución de papaina al 0,6% en agua a la temperatura de 50° C y durante una hora; transcurrido este tiempo, la imagen se lava en agua corriente durante diez minutos y se seca a temperatura ambiente. La transferencia se realiza mediante la utilización de los distintos adhesivos usados en los ensayos anteriores: Acronal® V205, Acronal® 85D, Scotch-Grip® 7434, Scotch-Grip® 4235, Mowilith® DM131, Mowilith® LT515, Mowilith® DM137, Paraloid® B-72 y Primal® AC-33.

*Baño
enzimático*

En relación a la transferencia de la imagen de puntos, si bien, los resultados obtenidos con los adhesivos experimentados no han sido satisfactorios, es necesario resaltar los siguientes aspectos referidos al conjunto de los resultados:

- a) La hidrolización provocada sobre las cadenas moleculares de la gelatina que aglutina la imagen de puntos ha dado resultados satisfactorios.

Concretamente, si sobre un área de imagen de un porcentaje de punto elevado, por ejemplo de un 90%, se desliza un punzón con el fin de levantar la imagen, se observa que ésta se desprende por el trazo marcado, sin que la imagen adyacente sea arrastrada.

- b) Sin embargo, en lo que respecta al proceso de transferencia en sí, hay que destacar:

- La *aplicación del adhesivo de transferencia sobre la imagen a transferir*, proporciona peores resultados que los obtenidos en los ensayos anteriores (Ensayos 19 y 20), en el sentido de que no se produce transferencia de la imagen.

El comportamiento observado puede atribuirse a una mayor penetración del adhesivo a través de la imagen de puntos, llegando hasta el soporte.

Esta hipótesis se fundamenta en la fragmentación de las cadenas de proteína provocada por su hidrólisis parcial, situación que aumenta la porosidad de la imagen.

*Transferencia
irregular*

- Asimismo, la *aplicación de cualquiera de los adhesivos sobre el área a reintegrar*, transfiere la imagen de manera irregular.

Concretamente, las áreas de imagen son transferidas de forma fragmentada y únicamente tiene lugar sobre la parte más externa; es decir, una vez realizado el proceso, sobre el soporte del FTT queda sin transferir la parte más interna de la imagen.

*Falta de
cohesión*

Este último efecto puede ser debido a una falta de unión entre las cadenas de gelatina parcialmente hidrolizada; situación que perjudica la transferencia de todo el espesor de la imagen.

Según lo anterior, parece necesario reforzar la unión entre cadenas, a fin de que sea posible realizar la transferencia de todo el espesor de la imagen.

No obstante, es importante señalar que este refuerzo del aglutinante no debe ser excesivamente elevado, pues de lo contrario se volvería a la situación planteada antes de la hidrolización.

Por otra parte, parece conveniente crear una adhesividad diferenciada entre la imagen de puntos a transferir y el soporte, de manera que la primera desarrolle una unión adhesiva con la superficie

sobre la que se hace la transferencia y, al mismo tiempo, el soporte de ésta no interfiera en la formación de dicha unión.

Ensayo 22

Se aplica sobre la imagen de puntos, un adhesivo de características tales que permita reforzar la unión entre las cadenas moleculares de la gelatina parcialmente hidrolizada que aglutina la imagen, y además, que este efecto se produzca en todo su espesor. Con esta finalidad se ha ensayado una disolución de goma arábica.

Goma arábica

Por otra parte, para evitar una excesiva penetración del adhesivo de transferencia, a la disolución de goma arábica se le ha adicionado un segundo componente, glicerina, cuya presencia provoca una disminución de la interacción de este adhesivo con la emulsión. La presencia de glicerina aumenta la polaridad de la emulsión e intensifica la participación de enlaces por puentes de hidrógeno²²². A este respecto, señalar que el adhesivo de transferencia se aplica en un disolvente de baja polaridad (xileno) que presenta baja afinidad por los materiales polares.

a) Soporte: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 µ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta

²²² Recordar que la glicerina es un polialcohol, concretamente el 1,2,3 propanotriol ($\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$).

(3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

c) *Exposición:* Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, según se determinó en el Ensayo 16.

d) *Procesado:* Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.

e) *Transferencia:* De forma análoga al ensayo anterior, se somete la imagen de puntos a una hidrolización enzimática; una vez lavada y seca, se aplica sobre la imagen una solución de goma arábica al 20% a la que se adiciona un 2% de glicerina. La transferencia se realiza mediante distintos ensayos, aplicando diferentes concentraciones dentro del intervalo del 5 - 20% de Paraloid® B-72 en xileno.

*Goma arábica
+ glicerina*

Paraloid® B-72

Se comprueba que la aplicación de la solución de goma arábica es suficiente para reforzar la unión entre las cadenas moleculares de todo el espesor de la imagen de puntos.

Sin embargo, en lo que respecta al proceso de transferencia, los resultados obtenidos no son adecuados. Al realizar la transferencia mediante presión-temperatura²²³, únicamente y de forma independiente es transferido el adhesivo de transferencia, y no la imagen de puntos.

*Resultados
negativos*

El efecto observado podría atribuirse a la baja afinidad existente entre la imagen de puntos -polar- y el disolvente del adhesivo de transferencia -apolar-; esta situación impide la formación de una unión suficientemente fuerte que haga posible la transferencia.

Ensayo 23

Se realiza ensayos de transferencia utilizando como adhesivo cera microcristalina; las restante etapas se mantienen igual que en el ensayo anterior.

*Cera
microcristalina*

a) Soporte: Se utiliza el mismo que en los ensayos anteriores: láminas de poliéster de 100 μ de espesor, de un formato de 7 x 10 cm.

b) Emulsión:

Componentes-Dosificación: Igual que en el Ensayo 16: agua (86,5%), gelatina (4,3%), sacarosa (3,3%), pigmento magenta (3%), fenol (0,2%), glicerina (2,2%), dicromato (0,4%), tensoactivo (0,1%).

Emulsionado: Mediante nivelación de precisión de la superficie emulsionada, siguiendo el mismo procedimiento que en el Ensayo 4.

²²³ La transferencia mediante presión-temperatura se ha llevado a cabo por medio de la utilización de una espátula térmica de características semejantes a las usadas en restauración para realizar el sentado del color.

- c) *Exposición:* Al igual que en el Ensayo 14, se realiza la exposición a través del soporte emulsionado en contacto con el negativo tramado de distintos porcentajes de punto, y colocando una lámina de color negro mate que impida la reflexiones indirectas de luz ultravioleta. El tiempo de exposición es de 9 minutos, de acuerdo al Ensayo 16.
- d) *Procesado:* Se revela el soporte emulsionado y expuesto a la luz de la misma forma que en el Ensayo 5: en un baño de agua a una temperatura de 45° C, con una agitación continua durante 10 minutos. Lavado y secado igual que en el Ensayo 8: lavado en agua corriente durante 15 minutos, y secado en posición vertical a temperatura y humedad ambiente.
- e) *Transferencia:* La preparación de la imagen para la transferencia se realiza de igual forma que en el Ensayo 22: se somete la imagen de puntos a una hidrolización enzimática y una vez lavada y seca, se aplica sobre la imagen una solución de goma arábica al 20% a la que se adiciona un 2% de glicerina. Se realizan distintos ensayos de transferencia aplicando diferentes concentraciones (10 - 70%) de una solución en caliente (50° C) de cera microcristalina en xileno.

Goma arábica 20%
+ glicerina 2%

Los resultados obtenidos llevan a las siguientes conclusiones:

- La aplicación de una solución en caliente del 50% de cera microcristalina en xileno hacen posible una transparencia óptima.
- Mediante una ligera presión, se puede realizar la transferencia de cualquier porcentaje de punto en todo su espesor.
- La transferencia de la imagen se limita exclusivamente a aquellas zonas en las que es ejercida la presión.

Cera
microcristalina
50% en xileno

GLOSARIO DE TÉRMINOS



Glosario de términos

A

Absorción selectiva.- Absorción desigual, por parte de una superficie coloreada, de las diferentes longitudes de onda de la luz. La longitud de onda que refleja hacia el ojo, da a la superficie su color.

Abstracción cromática.- Técnica de reintegración que se emplea cuando no se puede reconstruir la imagen, a modo de tinta neutral que recoge los colores presentes en la obra.

Acromático.- Carente de color. Se dice del blanco y el negro así como de los grises resultantes de sus mezclas.

Aditiva, mezcla.- Llamada también suma aditiva o síntesis aditiva, es el fenómeno que se obtiene a partir de la mezcla de los estímulos de los haces primarios de la luz coloreada. Cuando los haces de luz de diferentes colores se proyectan sobre una

superficie blanca, la luz reflejada es una mezcla cuyo color se deriva de la suma de los colores que tenían los haces de luz; así, las luces roja, verde y azul, proyectadas con igual intensidad, producen juntas una luz "blanca. Al mezclar las luces de color primarias roja, verde y azul, en diversas proporciones, se consigue una amplia variedad de colores. El color resultante siempre es más luminoso que cualquiera de los colores que se suman, debido a la adición de tres haces de luz.

Agudeza visual (Poder de resolución del ojo).- Capacidad del ojo para distinguir dos objetos muy próximos; se expresa mediante el ángulo visual que subtende. Depende de la longitud de onda utilizada, de la iluminación del objeto, de la estructura y comportamiento de la retina, y de las ametropías. Al ojo humano normal se le atribuye una agudeza visual de un minuto sexagesimal.

Anómalo tricromático.- Defecto de visión que afecta al color. Quienes padecen esta anomalía forman una muestra de color utilizando los tres colores primarios en mezcla anormales. Hay tres clases de anómalos tricromáticos según la anomalía se presente en unos u otros tipos de conos.

Área de punto.- Una imagen tramada consiste en puntos separados por espacios claros. El porcentaje de puntos se conoce como "porcentaje del área de punto". Cuando el área tramada presenta un diseño similar al de un tablero de ajedrez el área de punto es del 50%.

Asimilación, fenómeno.- Fenómeno de percepción por el que el color de un área es percibido como más próximo al color adyacente que si se viese de forma aislada. Asimilación ocurre con estímulos de fina estructura espacial. También se conoce este fenómeno como *efecto de difusión Bezold*.

B

Bastones.- Una de las dos clases principales de fotorreceptores que se encuentran en el ojo humano. Son muy sensibles a la luz pero no actúan en niveles altos de iluminación.

Binarios, colores.- Se dice de los colores que están formados por dos colores primarios.

Bipolares, células.- Interneuronas retinales que conectan los fotorreceptores con las células ganglionares.

Bezold, efecto de difusión.- Véase *asimilación, fenómeno*.

C

CIE.- Siglas de la Commission Internationale d'Éclairage (Comisión Internacional de Iluminación). Es una organización internacional que recomienda estándares y procedimientos para iluminación.

Colores base.- Son los colores de una serie, que pueden combinarse en un proceso de mezcla cromática para obtener una amplia gama de colores, pero sin que dos de ellos juntos puedan producir un tercero. En la mezcla sustractiva los colores base son el magenta, el cian y el amarillo; y en la mezcla aditiva las luces roja, verde y azul. Estos colores también se denominan colores primarios.

Color cálido.- Se dice en referencia a las radiaciones del espectro luminoso que presentan las máximas longitudes de onda que producen una reacción subjetiva como temperatura.

Color dominante.- Es aquél que dentro de una gama de color su presencia resulta más destacada.

Color frío.- Los colores fríos se sitúan en la parte del espectro correspondientes a las longitudes de onda cortas, las más cercanas al ultravioleta, identificándose en la percepción visual con sensaciones de temperatura opuestas a las de los colores cálidos.

Colores luz.- Color de una luz monocromática. Corresponde a los colores que aparecen en el espectro de la luz solar, y que van del rojo y a través del naranja, amarillo, verde y azul hasta el violeta.

Colores primarios.- Véase *colores base*.

Colorimetría.- Ciencia de medida del color y su apariencia. La colorimetría clásica trata principalmente con igualación de color más que con la apariencia del color como tal. Su objetivo es desarrollar métodos para predecir igualaciones perceptuales sobre las bases de medidas físicas.

Colorímetro.- Aparato que sirve para especificar un color, cotejándolo con un estímulo conocido que se puede especificar cuantitativamente.

Complementarios, colores.- Pares de colores que, cuando se mezclan aditivamente en forma de haces de luz, producen un color acromático blanco.

Conos.- Una de las dos clases principales de fotorreceptores que se encuentran en el ojo humano. Los conos actúan a niveles relativamente altos de luz y son responsables de la visión del color. Hay tres tipos de conos en el ojo humano, y cada uno tiene una diferente sensibilidad espectral.

Contraste.- Término que describe la separación de tonos en un negativo o copia. Una imagen obtenida fotográficamente que tenga tan sólo pequeños aumentos de densidad de un tono a otro para un incremento de exposición dado, se considera de "bajo contraste"; otra que presente grandes aumentos de densidad para el mismo incremento en la exposición se considera de "alto contraste".

Contraste simultáneo.- Fenómeno por el cual el color percibido de un área dentro de una escena, tiende a tomar un tono opuesto al del área que lo rodea. Así, un tono gris sobre un fondo rojo tomará una tonalidad verdosa. Este fenómeno puede ejercer efectos perturbadores sobre la valoración perceptual de los colores. El contraste simultáneo es un efecto óptico.

Coordenadas cromáticas.- Coordenadas que especifican la posición en un diagrama cromático. Las coordenadas cromáticas de un estímulo son obtenidas a partir de los valores triestímulo.

Cromático.- Que contiene color. Todos los colores menos los colores neutrales blanco, negro y grises, son cromáticos. La palabra "color" en lenguaje ordinario es a menudo usada para referirse exclusivamente a los colores cromáticos.

Cuentahílos.- Pequeña lupa de gran aumento, montada sobre un soporte. Sirve

para verificar la transferencia de la imagen de los FTT, y controlar los porcentajes de los elementos gráficos de los diseños.

Cuerpos de color.- Son aquellos en los que la sensación de color es generada por los rayos lumínicos remitidos o transmitidos de forma selectiva por la materia.

Curva característica.- Representación gráfica mediante una curva de la relación o respuesta del material fotosensible a distintas cantidades de luz.

Curva de distribución espectral (de una luz).- Representa en cada longitud de onda del espectro visible, la potencia de la luz a esa longitud de onda respecto a la potencia total.

Curva espectral de reflectancia o transmitancia (de una superficie).- Muestra la fracción de luz reflejada por un material o transmitida a través de éste en cada longitud de onda del espectro visible.

D

Densidad.- Valor numérico del grado de ennegrecimiento, o capacidad detenedora de la luz, de una imagen fotográfica.

Densitómetro.- Instrumento para medir densidades.

Deuteranopia.- Anomalía de la visión del color. Resulta de la pérdida de función de los conos sensibles a las longitudes de onda medias (verde).

Diagrama cromático.- Ordenación convencional y sistemática del color basada generalmente en los colores primarios y sus adyacentes con sus derivados hacia el color contiguo.

Difracción.- Dispersión de los rayos de un haz de luz que se produce cuando el mismo atraviesa orificios y ranuras de

muy pequeño tamaño, o cuando incide en los bordes de un cuerpo opaco.

E

Emulsión fotosensible.- Capa sensible a la luz de un material fotosensible.

Equienérgico, espectro.- Cuando las longitudes de onda del espectro visible estimulan simultáneamente y con la misma intensidad el ojo humano.

Escotópica, visión.- Visión que tiene lugar en niveles relativamente bajos de luz, cuando la respuesta visual es principalmente controlada por los bastones.

Espectro o espectro visible.- Banda de radiación electromagnética que comprende un intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 400 a 700 nanómetros, correspondiente a la sensibilidad del ojo humano.

Estímulos de color.- Son los rayos luminicos portadores de información objetivamente mensurable.

Estucado.- Operación, en restauración de pinturas, que consiste en aplicar una capa de preparación de yeso en las lagunas existentes, con objeto de rellenar los huecos de la preparación perdida, y hacer de base para la reintegración cromática.

Exposición.- Cantidad de luz que actúa sobre un material fotosensible. Es el producto de la intensidad de la luz por el tiempo durante el cual aquélla incide sobre la emulsión.

F

FTT (Fondos Tramados Transferibles).- Soportes que contienen una imagen positiva de puntos de una densidad uniforme pero distintos tamaños, en cada uno de los tres colores base. Esta imagen de signos es transferible a otro soporte.

Fondo tramado.- Diseño o modelo preciso de puntos de bordes nítidos de un tamaño porcentual específico, dispuestos sobre un soporte o base flexible. Presenta una imagen con los valores tonales invertidos respecto a los del original. La imagen es en blanco y negro.

Fotómetro.- Instrumento para medir la intensidad de la luz y calcular los tiempos de exposición necesarios.

Fotópica, visión.- Visión bajo niveles relativamente altos de luz, cuando la respuesta visual es principalmente controlada por los conos.

Fotorreceptores.- Neuronas sensibles a la luz. Los fotorreceptores interaccionan con luz lo cual produce cambios en sus propiedades eléctricas que son transmitidas a otras neuronas. La retina humana contiene dos clases básicas de fotorreceptores: conos y bastones.

Fóvea.- Área central de la retina. Contiene la más alta concentración de fotorreceptores (conos solamente) y corresponde al área de mayor resolución de la visión.

G

Gama.- Tonos formados con la mezcla de varios colores distintos.

Gamma.- Valor numérico asignado al contraste de un material fotosensible. Representa la inclinación de la porción recta de su curva característica. El valor gamma es numéricamente igual a la tangente del ángulo que la porción recta forma con el eje horizontal.

Ganglionares, células.- Son las células que indirectamente reciben impulsos de los fotorreceptores y envían su información al cerebro.

Gestalt, teoría de la.- Teoría psicológica que considera al hecho de consciencia como forma o estructura total.

Gradación.- Paso ordenado y uniforme desde un tono a otro en una gama de colores.

Grassmann, leyes de.- Son las leyes que rigen los resultados de aditividad de color en igualaciones experimentales. Así, si el estímulo *a* es igual al estímulo *b*, y el estímulo *c* es igual al estímulo *d*, entonces la mezcla aditiva de *a* y *c* será igual a la mezcla de *b* y *d* independientemente de la composición espectral del estímulo.

H

Halo.- Falta de nitidez, a modo de veladura, de una imagen fotográfica, especialmente en las áreas más claras, ocasionada por la luz no formadora de imagen reflejada desde la superficie posterior de la base y que incide en la emulsión.

Hombro (de la curva característica).- Parte superior de la curva característica situada por encima de su porción recta.

I

Imprimación.- Capa de fondo que se dispone sobre el soporte de una obra antes de ser pintado, para darle más cuerpo, hacerlo menos absorbente, más luminoso, facilitando con ello un trabajo adecuado y proporcionando mayor duración a los cuadros.

L

Laguna.- Falta o zona perdida del soporte, capa de preparación o capa pictórica, que presenta una obra de arte.

Lámpara de seguridad.- Lámpara para cuarto oscuro que proporciona luz de un color que no afecta al material fotosensible dentro de un margen de tiempo razonable de exposición.

Láser.- Aparato que puede producir descargas breves, pero intensas, de luz en haces de rayos paralelos; la luz es monocromática coherente, es decir, sus ondas están "escalonadas" no como la de la luz ordinaria.

Lineatura.- El número de líneas por centímetro o por pulgada que existe en una dirección determinada de un diseño de signos repetitivos.

Longitud de onda.- Es la medida de las ondas a través de las cuales la luz se mueve en el espacio. Las medidas distintas de longitudes de onda se ven como colores diferentes.

Luces de color primarias.- Serie de colores que pueden combinarse para formar una amplia gama de colores mediante mezcla aditiva. Las luces de color primarias roja, verde y azul, producen la gama más amplia de colores. Cada una de estas luces primarias no puede ser obtenida a partir de las otras dos.

Luminancia.- Es el término técnico que expresa la intensidad por unidad de área de una fuente luminosa. Se expresa en candelas por metro cuadrado (cd/m^2); esta unidad es llamada a veces *nit*.

Luminosidad.- Es el atributo de una sensación visual mediante la cual se considera que una superficie transmite o refleja difusamente una mayor o menor proporción de la luz que incide en ella. Se corresponde con la cantidad de gris que hay en un color, es decir, su valor de claridad cuando se le compara con el negro, o su valor de oscuridad cuando se le compara con el blanco. El equivalente colorimétrico de la luminosidad es la luminancia.

Luz "blanca".- Físicamente está integrada por luces monocromáticas de longitudes de onda comprendidas entre los límites de visibilidad sin solución de continuidad, es decir, por todas las longitudes de onda entre los límites citados.

M

Matiz.- Término que se utiliza para definir a un color que se diferencia

mínimamente de otro con una tonalidad específica.

Medio tono, puntos de.- Diseño de puntos que tienen densidad uniforme pero distintos tamaños.

Metámeros, colores.- Son los colores aparentemente iguales aunque las mezclas luminicas que envían al ojo del observador tienen diferentes composiciones de longitud de onda. Si se cambia el iluminante, un par metamérico parecerá, por lo general, de color diferente. Los colores metámeros son también llamados condicionalmente iguales.

Microespectrofotometría.- Técnica para obtener mediciones de la absorción espectral de una sola célula fotorreceptora.

Monocromática, luz.- Es la formada por radiaciones de una sola longitud de onda.

N

Nanómetro (nm).- Unidad de medida más comúnmente utilizada para la caracterización de las longitudes de onda del espectro visible; corresponde a la millonésima parte de un metro ($1\text{nm} = 1\text{ }\mu\text{m}$).

Negativo tramado.- Véase *fondo tramado*.

Newton, anillos de.- Efecto cromático que puede producirse cuando las superficies de unos cuerpos transparentes encierran una delgada película de aire o de otro medio transparente. Frecuentemente se presentan como sistemas de estrechas franjas de colores allí donde el cristal protector no está totalmente en contacto con la superficie de una placa de color, y se deben a la interferencia de la luz reflejada por un lado de la película de aire con la reflejada por el otro.

O

Óptica, mezcla.- Combinación de luces de diferente color en el ojo, produciendo la sensación de un nuevo color.

Original opaco.- Original para reproducción que se examina con la luz reflejada por su superficie.

Ortocromático.- Material sensible a la región espectral verde, azul y ultravioleta.

P

Pasados tramados.- Véase *fondo tramado*.

Película fotosensible.- Emulsión fotográfica extendida sobre una base plástica flexible transparente o translúcida.

Pigmentarios, procesos.- Métodos para obtener copias positivas basados en los diversos cambios físicos producidos por la acción de la luz en unos coloides sensibilizados.

Pigmentos fotosensibles.- Son los pigmentos de los fotorreceptores, situados en la retina, que cambian su estructura cuando absorben un fotón. Este cambio en respuesta a la luz es la primera etapa en el proceso que permite a los fotorreceptores producir una salida neural.

Poder resolutivo.- Capacidad de una emulsión fotosensible de reproducir los detalles más finos. Se suele expresar en líneas por milímetro.

Porción recta (de la curva característica).- Sección de la curva característica que es prácticamente una línea recta. Representa aquellas exposiciones en las que el aumento de densidad es proporcional al incremento en el logaritmo de la exposición.

Positivo.- Imagen fotográfica obtenida, por lo general, a partir de un negativo y en la cual los tonos no están invertidos

con respecto al original, como ocurre con el negativo. Si el positivo es sobre una base transparente suele llamarse "diapositiva" o "transparencia".

Potencia relativa.- Expresa la intensidad de una luz, a menudo examinada por la sensibilidad espectral del ojo, en cada longitud de onda del espectro visible.

Preparación, capa de.- Tiene la función de unificar el aspecto de la superficie, y facilitar la adhesión de la pintura al soporte. Además, consigue un fondo cromático adecuado para los efectos perseguidos, y reduce los efectos de los movimientos del soporte sobre la capa pictórica. La preparación esta compuesta de una carga y de un aglutinante.

Primarios, colores.- Véase *colores base*.

Procesado.- Nombre genérico dado a los tratamientos que siguen a la exposición del material fotosensible.

Procesos opuestos, teoría de.- Teoría de la visión de los colores, propuesta durante el siglo XIX por el filósofo y psicólogo alemán Ewald Hering. Esta teoría considera que la apariencia del color es el resultado del registro de la información de salida de los fotorreceptores en tres procesos o canales; dos canales cromáticos opuestos (amarillo-azul y rojo-verde), y un canal acromático (blanco-negro).

Protanopia.- Anomalía de la visión del color. Resulta de la pérdida de función de los conos sensibles a las longitudes de onda largas (rojo).

Pureza.- Es el equivalente colorimétrico de la saturación. Apariencia de un color no mezclado con acromáticos ni con complementarios.

R

Radiación actínica.- Radiación luminosa capaz de producir una transformación química en una emulsión fotosensible.

Reflectancia.- Capacidad física de un material para reflejar la luz que recibe.

Reintegración.- Acción o efecto de reintegrar o restituir una parte perdida. Técnica de restauración que permite integrar estéticamente una obra completando sus pérdidas, ya sean de soporte, de decoración o de policromía. Con independencia del criterio estético seleccionado, se limita exclusivamente a las lagunas existentes en la pieza, y se realiza con materiales inocuos, reversibles y reconocibles con respecto al original.

Remisión.- Dicese de los rayos de luz cuando son reflejados por la materia.

Rendimiento cromático.- Término que relaciona la apariencia cromática provocada por una fuente de iluminación sobre un objeto, respecto a la obtenida con una fuente de iluminación patrón.

Retina.- Capa interna del fondo del ojo que contiene los fotorreceptores y neuronas asociadas.

Rigattino.- Nombre italiano de la técnica de reintegración por medio de rayado.

S

Saturación.- Término empleado para describir la fuerza o intensidad de una tonalidad. Se emplea para definir la pureza cromática de un color o la cualidad que le distingue de un color grisáceo.

Selección cromática.- Técnica de reintegración que consiste en reconstruir la imagen y la grafía con colores puros seleccionados, descomponiendo el color a reintegrar.

Sensibilidad espectral (de un fotorreceptor).- Es la sensibilidad de un fotorreceptor a cada longitud de onda del espectro visible. Diferentes tipos de fotorreceptores tienen diferentes sensibilidades espectrales.

Sensibilizador.- Sustancia que hace a otra reaccionar con la luz, o que extiende el intervalo de radiaciones a la que es sensible una emulsión, o aumenta su sensibilidad.

Sensitometría.- La ciencia de medir la sensibilidad y otras características de los materiales fotográficos.

Serigrafía.- Sistema de impresión a través de una pantalla o tamiz de seda. Actualmente se emplean fibras sintéticas o metálicas. Admite una gran variedad de tintas y de soportes para su aplicación.

Sólido o espacio de color.- Figuras o cuerpos geométricos que permiten la distribución sistemática imaginaria de los colores en tres dimensiones, correspondientes a la luminosidad, saturación y tonalidad.

Sustractiva, mezcla.- Llamada también suma sustractiva o síntesis sustractiva. El color resulta de la sustracción simultánea o sucesiva de diversos colores de la luz que pasan a través de la combinación de filtros transparentes de colores. Así, el color amarillo absorbe la longitud de onda de la luz incidente correspondiente a la porción de luz azul, el color magenta absorbe la porción luz verde y el color cian absorbe la luz roja. El resultado es diametralmente opuesto a la mezcla aditiva.

T

Talón (de la curva característica).- Fragmento de la curva característica que está debajo de la porción recta. Representa el área mínima de exposición útil.

Temperatura de color.- Es la identificación de la distribución espectral de la radiación visible emitida por un cuerpo negro mediante su temperatura absoluta.

Tonalidad (Tono).- Atributo de la sensación visual de un color, según el cual se le distingue de otro y da nombre al mismo, como: azul, amarillo, rojo etc. Las diferencias de tono depende de las variaciones en las longitudes de onda de la luz que incide en el ojo. Físicamente la tonalidad se determina por la longitud de onda dominante.

Tono continuo.- Estructura óptica de una imagen en la que las variaciones tonales se producen por diferencias de densidad en solución de continuidad, como las que se observan en una fotografía.

Trama de contacto.- Diseño de puntos esfumados sobre base de película. Esta trama de medio tono se usa en contacto directo con la película para obtener una reproducción tramada.

Transmitancia.- Referente a un material transparente es la fracción o porcentaje de la luz incidente que pasa completamente a través del material.

Tratteggio.- Denominación italiana, también llamada *rigattino*, de un tipo de reintegración por medio de un sistema de rayado.

Tricromática, visión.- La información del color es transferida a través de tres canales independientes. La visión humana del color es tricromática, derivada de los tres tipos diferentes de conos.

Tritanopia.- Anomalía de la visión del color. Resulta de la pérdida de función de los conos sensibles a las longitudes de onda cortas (azules). La tritanopia es mucho menos común que la protanopia o deuteranopia.

V

Valores triestímulo.- Para un conjunto de tres colores primarios, los valores triestímulo corresponde a la cantidad de los mismos que es necesaria para igualar un estímulo.

Velado.- Producción de velo en un material fotosensible.

Veladura.- Aplicación de la pintura en transparencias a través de la cual se matiza o varía la luz del tono aplicado primeramente.

Velo.- Tenue depósito de densidad en todo el área de la imagen. Por lo general, es causado por luz no formadora de imagen que llega a la emulsión sensible.

Y

Young - Helmholtz, teoría de.- Teoría propuesta por Thomas Young a principios del siglo XIX, elaborada por H. L. F. van

Helmholtz, según la cual nuestra valoración del color está basada en el funcionamiento de solamente tres clases de receptores en el ojo. La teoría se basaba en el hecho experimental de que la visión es tricromática. Sugiere que los tres tipos de fotorreceptores tienen su máximo de sensibilidad en las zonas roja, verde y azul del espectro. La información combinada procedente de los tres tipos de receptores en cada parte de la retina permite establecer la valoración de un color.

BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía

- AFHA (Ed.) (1967): "El color en la fotografía", en *La fotografía fácil*, vol. 8, AFHA, Barcelona, [La paginación viene expresada por fascículos dentro de cada volumen].
- AGOSTON, G. A. (1987): *Color theory and its application in art and design*, 2.^a ed. rev., Springer-Verlag, New York, (Springer series in optical sciences, 19).
- ALBERS, J. (1985): *La interacción del color*, (trad. M. L. Balseiro), 5.^a ed., Alianza Forma, Madrid, (1.^a ed. 1979).
- ALTHÖFER, H. (1991): *Il restauro delle opere d'arte moderne e contemporanee*, (trad. M. Tirotti y R. Ferrari), Nardini, Firenze.
- ALTMAN, J. H. (1977): "Sensitometry of black and white materials", en *The Theory of the photographic process*, (Ed. T. H. James), 4.^a ed., Macmillan Publishing Co, New York.

- ARNHEIM, R. (1994): *Arte y percepción visual. Psicología del ojo creador*, (trad. M. L. Balseiro), (1.^a ed. 1979; 12.^a reimpr. 1994), Alianza Forma, Madrid.
- ARNOLD, C. R., P. J. ROLLS y J. C. J. STEWART (1974): *Fotografía aplicada*, (trad. F. Tomás), Omega, Barcelona.
- ASTM D1729-89: *Standar practice for visual evaluation of color differences of opaque materials*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1989).
- ASTRUA, M. (1982): *Fotocromía básica. Tecnología convencional y electrónica*, (trad. L. Tapiz), Don Bosco, Barcelona, (Nuevas Fronteras Gráficas, 10).
- BALDINI, U. (1983): *Teoría del restauro. E unita di metodologia*, vol. II, 2.^a ed., Nardini, Firenze, (1.^a ed. 1981).
- (1988): *Teoría del restauro. E unita di metodologia*, vol. I, 4.^a ed., Nardini, Firenze, (1.^a ed. 1978).
- y O. CASAZZA (s.a.): *El Sant Crist de Cimabue*, Departament de Cultura, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- BANN, D. (1988): *Manual de producción para artes gráficas*, (trad. C. Martínez), 1.^a ed., Tellus, Madrid.
- BARGILLIAT, A. (1958): *Photo Litho: photo et copie*, 2.^a ed., Ministère de L'éducation nationale, Institut national des industries et arts graphiques, París.
- BEIGBEDER, F. (1988): *Nuevo diccionario politécnico de las lenguas española e inglesa*, Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- BELLO URGELLÉS, C. y A. BORRELL CREHUET (1995): *Restauración de la obra gráfica. Metodología aplicada a la reintegración gráfico-pictórica*, Balaam, Barcelona.
- BERGEON, S. (1990): *Science et patience. Ou la restauration des peintures*, Editions de la Réunion des musées nationaux, París.
- (1996): "Couleur et restauration", *Techne*, núm. 4, págs. 17-28.

- BILLMEYER, F. W., y M. SALTZMAN (1981): *Principles of color technology*, 2.^a ed., John Wiley & Sons, New York.
- BLACKEMORE, C. y F. W. CAMPBELL (1969): "On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images", *Journal of Physiology*, núm. 203, págs. 237-260.
- BOWMAKER, J. K. y H. J. A. DARTNALL (1980): "Visual pigments of rods and cones in a human retina", *Journal of Physiology*, (Cambridge), vol. 298, (En.), págs. 501-511.
- BRANDI, C. (1963): "Il trattamento delle lacune e la Gestalt psicologie", en *Acts XX International Congress of the History of Art, Problems of the 19 th and 20 th Centuries*, vol. IV, Studies in Western Art, New Jersey, págs. 146-151.
- (1993): *Teoría de la restauración*, (trad. M. A. Toajas Roger), (1.^a ed. 1988; 3.^a reimpr. 1993), Alianza Forma, Madrid.
- BRANDIS, R. L. (1990): "Animal glue" en *Handbook of adhesives*, (Ed. I. Skeist), 3.^a ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
- BRIDGEWATER P. y G. WOODS (1993): *Efectos en los fotograbados tramados*, Gustavo Gili, Barcelona.
- BUCES AGUADO, J. A. (1991): "El tratamiento de la laguna en la pintura de caballete. Criterios básicos", en *Actas VII Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Servicio central de publicaciones del gobierno vasco, Vitoria-Gasteiz.
- BURBANO, S.; E. BURBANO y C. GRACIA (1993): *Física General*, 31.^a ed., Mira Editores, Zaragoza.
- BURDEN, J. W. (1978): *La fotorreproducción en las artes gráficas*, (trad. R. Álvarez), Don Bosco, Barcelona, (Nuevas Fronteras Gráficas, 8).
- CALVO, A. (1995): *La restauración de pintura sobre tabla*, Servei de publicacions, Diputació de Castelló, Castelló.
- (1997): *Conservación y Restauración: materiales, técnicas y procedimientos*, 1.^a ed., Ediciones del Serbal, Barcelona.

- CANCELA, J. y J. GAGO (1990): *Técnica clásica a la goma bicromatada. Descripción y práctica del proceso*, Buenas impresiones, San Sebastián.
- CASAS, J. M., R. GONZÁLEZ y R. PUENTE (1991): *Curso de Iluminación integrada en la arquitectura*, Servicio de publicaciones del colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid.
- CASAZZA, O. (1992): *Il restauro pittorico. Nell'unità di metodologia*, 4.^a ed., Nardini, Firenze, (1.^a ed. 1981).
- CASTNER, H. W. y A. ROBINSON (1969): *Dot area symbols in cartography: the influence of pattern on their perception*, 1.^a ed., American Congress on Surveying and Mapping, Washington.
- CARSON WEBSTER, J. (1944): "Technique of impressionism: A reappraisal", *College art journal*, (New York), vol. 4, núm. 1, (Nov.), págs. 3-22.
- CAZA, M. (1983): *Técnicas de serigrafía*, (trad. J. Pérez-Cela), 3.^a ed., Rufino Torres, Barcelona, (1.^a ed. 1967).
- CIATTI, M. (1990): "Cleaning and retouching: an analytical review", en *Cleaning, retouching and coatings. Technology and practice for easel paintings and polychrome sculpture*, (Eds. J. S. Mills y P. Smith), (London), International Institute for Conservation and Artistic Works, (Sept.), págs. 59-62.
- CHEVREUL, M. E. (1969): *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés considéré d'après cette loi dans ses rapports avec la peinture, les tapisseries des gobelins, les tapisseries de beauvais pour meubles, les tapis, la mosaïque, les vitraux colorés, l'impression des étoffes, l'imprimerie, l'enluminure, la décoration des édifices, l'habillement et l'horticulture*, (1899), Léonce Laget, Paris.
- CHROSCICKI, W. (1978): "Visual bases of color knowledge", en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*, (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 414-422.

- CLAPPER, F. R. (1977): "Tone and color reproduction. II Color reproduction", en *The Theory of the photographic process*, (Ed. T. H. James), 4.^a ed., Macmillan Publishing Co, New York.
- CLERC, L. P. (1910): *Les Reproductions Photomecaniques Monochromes: photogravure, similigravure, phototypie, heliogravure, etc.*, Octave Doin et fils, París.
- (1947): *La technique des reproductions photomecaniques. Généralités reproduction monochromes: photogravure, photolithographie, phototypie, heliogravure I*, (Editions de la Revue Le Procédé), Etablissements Bouzard - Calmes, París.
- (1975): *Fotografia teoría y práctica*, (trad. L. M. J. Cisneros Pañella), Omega, Barcelona.
- COOTE, J. H., F. R. P. S. y F. B. K. S. (1956): *Colour prints. The photographic techniques of the colour positive*, 1.^a ed., Focal Press, London.
- CRAWFORD, W. (1979): *The Keepers of Light*, Morgan & Morgan. Dobbs Ferry, New York.
- DA VINCI, L. (1986): *Tratado de la pintura*, (ed., introd., y n. de A. González García), Akal, Madrid.
- DE VALOIS, R. L. y K. K. DE VALOIS (1997): "Neural coding of Color", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- DÍAZ MARTOS, A. (1975): *Restauración y conservación del arte pictórico*, Arte Restauro, Madrid.
- DOERNER, M. (1991): *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*, 5.^a ed., Reverté, Barcelona, [versión de la 16.^a ed. alemana].
- DOWN, J. L., M. A. MACDONALD, J. TETREAULT y R. S. WILLIAMS (1996): "Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute - an evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives", *Studies in Conservation*, (London), vol. 41, núm. 1, págs. 19-44.



- EHRICH, F. F. (1988): "Quinacridone pigments", en *Pigment Handbook*, vol. I, *Properties and economics* (Ed. P. A. Lewis), 2.^a ed., John Wiley & Sons, USA.
- FABRIS, S. y R. GERMANI (1987): *Color, proyecto y estética en las artes gráficas*, 3.^a ed., Edebé, Barcelona, (Nuevas Fronteras Gráficas, 1).
- FERNÁNDEZ ARENAS, J. (1996): *Introducción a la conservación del patrimonio y técnicas artísticas*, 1.^a ed., Ariel, Barcelona.
- FRAISSE, P. y J. PIAGET (comp.) (1979): *La percepción*, (trad. M. T. Cevasco), 2.^a ed., Paidós, Buenos Aires, (Tratado de psicología experimental, 6).
- FRISBY, J. P. (1987): *Del ojo a la visión. Ilusión, cerebro y mente*, (trad. E. García Bajos y J. Lillo Jover), Alianza Editorial, Madrid.
- GERRITSEN, F. (1976): *Color. Apariencia óptica, medio de expresión artística y fenómeno físico*, (trad. E. Sans), 1.^a ed., Blume, Barcelona.
- GESCHWIND, N. y M. FUSILLO (1997): "Color-naming defects in association with alexia", en *Readings on Color*, vol. II, *The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- GETTENS, R. J. y G. L. STOUT (1966): *Painting Materials*, Dover publications, Inc., New York.
- GIBSON, J. (1974): *La percepción del mundo visual*, (trad. E. L. Revol), 1.^a ed., Infinito, Buenos Aires.
- GLAFKIDES, P. (1967): *Chimie et Physique photographiques*, 3.^a ed. rev. y aum., Publications Photo-cinéma Paul Montel, París.
- GOETHE, J. W. von (1992): *Teoría de los colores*, [1810-1823], edición dirigida por J. López Albadalejo, [trad. Pedro Simón, 1.^a ed., en castellano 1945], Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales y Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, Madrid, (Colección Tratados).
- GÓMEZ GONZÁLEZ, M. L. (1994): *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, 1.^a ed., Ministerio de Cultura, Madrid.

- GONZÁLEZ, G. (dir.) (1982): *El gran libro del color*, (trad. Pawlowsky), 1.^a ed., Blume, Barcelona.
- GRANDIS, L. DE (1985): *Teoría y uso del color*, Cátedra, Madrid.
- GRANOVSKAYA, R. M., I. Y. BEREZNAYA y A. N. GRIGORIEVA (1987): *Perception of form & forms of perception*, (trad. I. Y. Bereznaya), Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey.
- HALSTEAD, M. B. (1978): "Colour rendering: past, present and future", en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*, (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 97-127.
- HEYWOOD, C., A. COWEY, y F. NEWCOMBE (1997): "On the role of parvocellular (P) and magnocellular (M) pathways in cerebral achromatopsia", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- HICKETHIER, A. (s.a.): *El cubo de los colores*, (trad. V. Lamiquiz y J. Diez), Bouret, París.
- HORIE, C. V. (1994): *Materials for conservations: organic consolidants, adhesives and coatings*, (1.^a ed. 1987; 3.^a reimpr. 1994), Butterworth - Heinmann, Oxford.
- HSIA, Y. y C. H. GRAHAM (1997): "Color blindness", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- HUNT, R. W.G. (1957): *The reproduction of colour*, 1.^a ed., Fountain Press, London.
- (1978): "Terms and formulae for specifying colour appearance" en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*, (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 321-327.
- HURVICH, L. M. (1978): "Two decades of opponent processes", en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*,

- (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 33-61.
- JAMES, C. (1991): "L'integrazione dei colori", en *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni e stampe antichi*, (trad. M. L. Strocchi), Leo S. Olschki, Firenze, págs. 219-221.
- JAMES, T. H. (1977): *The theory of the photographic process*, (Ed. T. H. James), 4.^a ed., Macmillan Publishing Co, New York.
- JAMENSON, D. y L. M. HURVICH (1975): "From contrast to assimilation: In art and in the eye", *Leonardo*, vol.8, núm. 2, págs. 125-131.
- (1997): "Eassy concerning color constancy", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- KAISER, P. K. y R. M. BOYNTON (1996): *Human color vision*, 2.^a ed., Optical Society of America, Washington, DC.
- KEPES, G. (1976): *El lenguaje de la visión*, (trad. E. L. Revol), 2.^a ed., Infinito, Buenos Aires.
- KODAK (1978): *Técnicas para el tramado en las artes gráficas*, Publicación Kodak núm. XQ-3Sp, Madrid.
- (1980): *El color en fotomecánica*, Publicación Kodak núm. XQ-7Sp, Madrid.
- KOFFKA, K. (1973): *Principios de psicología de la forma*, 2.^a ed., Paidós, Buenos Aires (Biblioteca Psicologías del siglo XX, 3) [impr. 1973].
- KOWALISKY, P. (1977): "Sensitometry of color films and papers", en *The theory of the photographic process*, (Ed. T. H. James), 4.^a ed., Macmillan Publishing Co, New York.
- (1978): "The espectral sensitivities of color-reproduction systems", en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*, (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 129-152.

- KRAGH, A. M. y J. WOOTTON (1978): "Cola animal y adhesivos protéicos afines", en *Adherencia y adhesivos*, (Adhesivos, vol. I, Enciclopedia de la química industrial, t. 3, Eds.: R. Houwink y G. Salomon), 2.^a ed., Urno, Bilbao.
- KUBELKA, P. (1948): "New contributions to the optics of intensity light-scattering materials. Part I", *Journal of the Optical Society of America*, vol. 38, núm. 5, (Mayo), págs. 448-457.
- (1954): "New contributions to the optics of intensity light-scattering materials. Part II: Nonhomogeneous layers", *Journal of the Optical Society of America*, vol. 44, núm. 4, (Abr.), págs. 330-335.
- KÜHN, H. (1986): *Conservation and restoration of works of art and antiquities*, vol. I, (trad. A. Trone), 1.^a ed., Butterworths, London.
- KÜPPERS, H. (1994): *Atlas de los colores*, (trad. F. de la Fuente), (1.^a ed. 1979; 1.^a reimpr. 1994), Blume, Barcelona.
- (1992): *Fundamentos de la teoría de los colores*, (trad. M. Faber-Kaiser), 4.^a ed., Gustavo Gili, Barcelona, (1.^a ed. 1980).
- LACOMME, D. (1993): *La lumière dans le dessin et la peinture*, Bordas, París.
- LAND, E. H. (1997): "Recent advances in retinex theory", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- LANGFORD, M. J. (1972): *Tratado de fotografía*, (trad. V. Millan y L. M^a. J. de Cisneros), Omega, Barcelona.
- LANK, H. (1990): "Egg tempera as a retouching medium", en *Cleaning, retouching and coatings. Technology and practice for Easel Paintings and Poychrome Sculpture*, (Eds. J. S. Mills y P. Smith), (London), International Institute for Conservation and Artistic Works, (Sept.), págs. 156-157.
- LEGORBURU ESCUDERO, M. P. (1992): "Hacia una revisión de criterios en reintegración", en *Actas IX Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, (Sept.), Secretaría del IX Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Sevilla.

- LEGORBURU ESCUDERO, M. P. (1995): *Criterios sobre la reintegración de lagunas en obras de arte y transcendencia del estuco en el resultado final según su composición y aplicación*, (Tesis doctoral), Universidad del País Vasco, Bilbao.
- LINSAY, P. H. y D. A. NORMAN (1986): *Introducción a la psicología cognitiva*, (trad. J. Seoane, C. García Trevijano y J. C. Armero San José), (1.^a ed. 1975 ; 2.^a ed. revis. y ampl. 1983; 1.^a reimpr. 1986), Tecnos, Madrid.
- LOBEL, L. y M. DUBOIS (1973): *Manual de sensitometría. La técnica de la medición de los materiales fotográficos*, (trad. E. Condeminas y L. M^a. de Cisneros Pañella), 2.^a ed. rev. y ampl., Omega, Barcelona.
- LUNA BLANCO, M. (1992): "Percepción visual de la forma y organización perceptual", en *Tratado de psicología general 3. Atención y percepción*, Alhambra Longman, Madrid.
- MACADAM, D. L. (1942): "Visual sensitivities to color differences in daylight", *Journal of the Optical Society of America*, vol. 32, núm. 5, (Mayo), 1942, págs. 247-274.
- (1997): "The physical basis of color specification", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- MACARRÓN MIGUEL, A. (1995): *Historia de la conservación y la restauración. Desde la antigüedad hasta finales del siglo XIX*, 1.^a ed., Tecnos, Madrid.
- MACNICHOL, E. F. (1964): "Three-pigment color vision: direct measurements of the absorption of light by individual cells show that color is discriminated in vertebrate retinas by three pigments segregated in three kinds of cone receptor", *Scientific American*, vol. 211, núm. 6, (Dic.), págs. 48-56.
- McLAREN, K. (1983): *The colour science of dyes and Pigments*, Adam Hilger, Bristol (England).

- MALAVOY, B. (1988): *Comment restaurer vos tableaux. Les supports. Les outils. Les technique*, Bordas, París.
- MARTÍN, E. (1975): *Artes gráficas: tecnología general*, Don Bosco, Barcelona, (Nuevas Fronteras Gráficas, 6).
- MARTINEZ DE LAS MARIAS, P. (1972): *Química y física de los altos polímeros y materias plásticas*, 1.^a ed., Alhambra, Madrid.
- MARIJNISSEN, R. H. (1967): *Degradation, conservation et restauration de l'oeuvre d'art I*, Arcade, Bruxelles.
- MAYER, R. (1993): *Materiales y técnicas del arte*, (trad. J. M. Ibeas), 2.^a ed. rev. y ampl., Hermann Blume, Madrid, (1.^a ed. 1985).
- MELGOSA, M., E. HITA, J. ROMERO y L. JIMENEZ DEL BARCO (1990): "Fórmulas de diferencia de color", *Optica Pura y Aplicada*, vol. 23, núm. 3, págs. 137-146.
- MORA, P., L. MORA y P. PHILIPPOT (1984): *Conservation of wall paintings*, Butterworths, London.
- MORENO RIVERO, T. (1996): *El color. Historia, teoría y aplicaciones*, (prol. F. Fernández), 1.^a ed., Ariel, Barcelona.
- NADEAU, L. (1986): *Modern carbon printing. A practical guide to the ultimate in permanent photographic printing: monochrome carbon transfer and carbonyl*, Atelier Luis Nadeau, Fredericton, New Brunswick, (Canada).
- NAMIAS, R. (1921): *Química fotográfica II*, Bailly - Baillière, Madrid.
- (1935): *Enciclopedia fotográfica*, Bailly - Baillière, Madrid.
- NASSAU, K. (1997): "The Causes of Color", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- PALAZZI, S. (1995): *Colorimetria: La scienza del colore nell'arte e nella tecnica*, Nardini, Firenze.

- PATTON, T. C. (1973): "Pigmentation of commercial printin inks", en *Pigment Handbook, vol. II, Aplicacions and markets*, (Ed. T. C. Patton), John Wiley & Sons, USA.
- PEREZ, C. y J. GARCIA (1994): "Las ecuaciones de diferencia de color y el control de calidad", *Pinturas y acabados industriales*, vol. 36, núm. 212, (Jun.), págs. 14-20.
- PHILIPPOT, A. y P. (1959): "Le problème de l'intégration des lacunes dans la restauration des peintures", en *Bulletin del Institut Royal du Patrimoine Artistique, II*, Bruxelles, págs. 5-18.
- PINCAS, A. (1991): *Le lustre de la main: esprit, matière et techniques de la peinture*, Ecole nationale supérieure des Beaux-Arts, París.
- PIZZARELLO, R. A. (1973): "Pigmentation of textiles", en *Pigment Handbook, vol. II, Aplicacions and markets*, (Ed. T. C. Patton), John Wiley & Sons, USA.
- PRIETO, M. y M. SÁNCHEZ (1997): "Reintegración cromática versus falsificación", en *Actas del IV Congreso Nacional del Color*, (Jun.), Universidad de Extremadura, Comité Español del color, Jarandilla de la Vera (España), págs. 19-20.
- RAVIOLA, E. (1969): *Fotolitografía*, (trad. L. Tapiz y E. Martín), Don Bosco, Barcelona.
- REED, R. F. (1960): *What the lithographer should know about ink*, Graphic arts technical foundation, Pittsburgh (USA).
- (1966): *Formulario para offset*, Publicaciones offset, Barcelona.
- RICHTER, K. (1980): "Cube - root color spaces and chromatic adaptation", *Color research and application*, (New York), vol. 5, núm. 1, págs. 25-43.
- RIZZO, M., V. SMITH, J. POKORNY, y A. R. DAMASIO (1997): "Color perception profiles in central achromatopsia", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

- ROBERTSON, A. R. (1978): "CIE Guidelines for coordinated research on colour-difference evaluation", *Color research and application*, (New York), vol. 3, núm. 3, págs. 149-151.
- ROBINSON, A. H., R. D. SALE, J. L. MORRISON, y P. C. MUEHRCKE (1987): *Elementos de cartografía*, (trad. R. M.^a Ferrer), Omega, Barcelona.
- ROCHE, A. (1996): "Pressure-sensitive adhesives for the attachment of reinforcing canvases to the back of paintings", *Studies in Conservation*, (London), vol. 41, núm. 1, págs. 45-54.
- ROGONDINO, M. (1990): *Computer color: 10.000 computer-generated process colors*, Chronicle Books, San Francisco.
- ROIRE, J. (1988): "Le métamérisme", *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des Oeuvres d'arte et du Patrimoine*, (Puteaux - France), núm. 1, (Jun.), págs. 64-68.
- ROJA, J. M. DE LA (1999): "Utilización de un sistema de referencia cromática en la reintegración de obras de arte", *V Congreso Nacional de Color*, (Pendiente de aceptación), Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa.
- y M. SAN ANDRÉS (1998): *Procedimiento de reintegración cromática mediante tricromía, asistido por medios transferibles, para restauración de obra pictórica y escultura policromada*, Solicitud de Patente Núm. P9802182, (Pendiente de aprobación). Entidad Titular: Universidad Complutense de Madrid. Presentada con fecha 20-X-1998, en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).
- y M. SAN ANDRÉS (1999): *Estructura y elaboración de los Fondos Tramados Transferibles utilizados para la reintegración cromática de obras pictóricas y escultura policromada*, Solicitud de Patente Núm. P9900107, (Pendiente de aprobación), Entidad Titular: Universidad Complutense de Madrid. Presentada con fecha 20-I-1999, en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).
- ROSE, P. I. (1977): "Gelatin", en *The Theory of the photographic process*, (Ed. T. H. James), 4.^a ed., Macmillan Publishing Co, New York.

- RUHEMANN, H. (1968): *The cleaning of paintings. Problems and potentialities*, 1.^a ed., Faber and Faber, London.
- SALVIA CASTELLVÍ, M. (1990): "Estudi de l'adequació de la colorimetria triestímul a un procés d'ajustament visual de petites diferències de color", *Institut Qimic de Sarrià*, núm. 21, pág. 22.
- SAN ANDRÉS MOYA, M., O. CONEJO, A. SÁNCHEZ y J. M. DE LA ROJA (1995): "Medida del amarilleamiento de algunas resinas sintéticas utilizadas en procesos de conservación - restauración", *Patina*, núm. 7, (Jun.), págs. 94-100.
- SÁNCHEZ, A. y C. DALMAU (1997): "El barniz y su influencia en la valoración cromática de la obra de arte", en *Actas del IV Congreso Nacional del Color*, (Jun.), Universidad de Extremadura, Comité Español del color, Jarandilla de la Vera (España), págs. 126-127.
- SANDERS, N. y W. BEVINGTON (1986): *Manual de reproducción del diseñador gráfico*, Gustavo Gili, Barcelona.
- SANZ, J. C. (1996): *El libro de la imagen*, 1.^a ed., Alianza Editorial, Madrid.
- SASSI, L. (1922): *Recetario fotográfico*, Gustavo Gili, Barcelona.
- SCHUNCK, R. P. y K. HUNGER (1988): "Hansa® Yellows and Oranges", en *Pigment Handbook, vol. I, Properties and economics*, (Ed. P. A. Lewis), 2.^a ed., John Wiley & Sons, USA.
- SCHUSTER, M. y H. BEISL (1982): *Psicología del arte*, (trad. M. T. Piñel), 1.^a ed., Blume, Barcelona.
- SCICOLONE, G. (1993): *Il restauro dei dipinti contemporanei. Della tecniche di intervento tradizionali alle metodologie innovative*, Nardini, Firenze.
- SKOOG, D. A. y D. M. WEST (1989): *Análisis instrumental*, (trad. M. Calcagno), 2.^a ed., Macgraw-Hill, México.
- SMITH, H. M. (1988): "Phthalocyanine blue pigments", en *Pigment Handbook, vol. I, Properties and economics* (Ed. P. A. Lewis), 2.^a ed., John Wiley & Sons, USA.

- SORIANO, J. C. y N. ALCON (1993): "Control colorimétrico industrial: comparación visual de colores", *Pinturas y acabados industriales*, vol. 35, núm. 204, (Jun.), págs. 38-41.
- SPROSON, W. N. (1983): *Colour science in television and display systems*, Adam Hilger, Bristol (England).
- STANIFORTH, S. (1985): "Retouching and colour matching: the restorer and metamerism", *Studies in Conservation*, (London), vol. 30, núm. 3, (Agt.), págs. 101-111.
- STONG, C. L. (1964): "The amateur scientist: Moiré patterns provide both recreation and some analogues for solving problems", *Scientific American*, vol. 211, núm. 5, (Nov.), págs. 134-138.
- THOMSON, G. (1986): *The museum environment*, 2.^a ed., (1.^a ed. 1978), Butterworths, London.
- THORNTON, W. A. (1978): "Prime-color theory of human vision", en *Third Congress of the International Colour Association, New York, 1977*, (Eds. F. W. Billmeyer y G. Wyszecki), Adam Hilger, Bristol (England), págs. 284-286.
- UNE 40-399-88: *Textiles. Ensayo de solidez de las tinturas. Evaluación del grado de blanco. Método ISO*, AENOR, Madrid, (1988), [Equivalente a la norma ISO 105/J01].
- UNE 40-435-84: *Determinación de diferencias de color según el sistema CIELAB*, IRANOR, Madrid, (1984).
- UNE 48-260-94: *Pinturas y barnices. Comparación visual del color de pinturas*, AENOR, Madrid, (1994), [Equivalente a la norma ISO 3668:1976].
- UNE 54-002-73: *Condiciones de iluminación para la observación de originales opacos en color*, IRANOR, Madrid, (1973).
- UNE 54-022-81: *Fotorreproducción en la industria gráfica. Inclinaciones de las tramas convencionales para la reproducción en colores*, IRANOR, Madrid, (1981), [Se corresponde con las normas DIN 16547 y UNI 6240-68].

- UNE 72-036-82: *Especificación de las diferencias de color psicofísicas*, IRANOR, Madrid, (1982).
- VALLDEPERAS MORELL, J. (1995a): "Colorimetría: El ojo y la visión del color (I)", *Técnica textil internacional*, núm. 3, págs. 30-35.
- (1995b): "Colorimetría: El ojo y la visión del color (II)", *Técnica textil internacional*, núm. 4, págs. 30-35.
- VALLVE, M. (1936): *Tratado moderno de fotografía*, (Ed. J. Montesó), Barcelona.
- VIRO, F. (1980): "Gelatin", en *Encyclopedia of chemical technology*, vol. 11, (Eds. R. E. Kirk y D. F. Othemer), 3.^a ed., John Wiley & Sons, New York.
- WANDELL, B. A. (1997): "Color constancy and the natural image", en *Readings on Color, vol. II, The Science of Color*, (Eds. A. Byrne y D. R. Hilbert), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- WRIGHT, W. D. (1969): *The measurement of colour*, 4.^a ed., Adam Hilger, London, (1.^a ed. 1944).
- YULE, J. A. C. (1967): *Principles of color reproduction: applied to photomechanical reproduction, color photography, and the ink, paper, and other related industries*, John Wiley & Sons, New York.
- ZELICH, C. (1995): *Manual de técnicas fotográficas del siglo XIX*, Artes y proyectos editoriales, Photovision, Sevilla.

ÍNDICE TEMÁTICO

Índice temático

A

- absorbancia, 119, 133, 134
- absorción, 61, 70, 85-88, 96, 97, 107, 109, 117, 119, 121, 125-128, 130, 131, 133, 134, 140, 145-147, 152, 171, 177, 178, 238, 240, 242-244
 - selectiva, 86, 88, 125, 126, 129, 141-143, 145, 177, 236, 287, 312, 360, 362, 364
- abstracción cromática, 20, 49-52, 62, 63, 325
- acetona, 199, 205, 368
- ácido, 145, 196, 207
 - acético, 199
 - crómico, 194, 201, 205
- acuarela, 55, 57, 296
- aditiva, Mezcla, 67, 109, 113, 121-123, 126, 127, 130, 136, 143, 152, 167, 177
- aditividad, Falta de, 149-151, 171, 288
- Agfa-Gevaert*, 220
- aglutinantes, 54-56, 140, 180, 181, 270, 297, 313, 344-349, 373, 376
- agrupamiento perceptivo, 155
- aguafuertes, 62, 135
- agudeza visual, 158, 160-164, 166, 173, 176, 223, 224
- albúmina, 193
- alcohol, 199, 205, 213
 - polihidroxílico, 199
 - de polivinilo, 56, 193, 196
 - isopropílico, 205, 214
- algodón hidrofílico, 212
- alteración cromática, 140
- amarilleamiento, 36, 56, 140, 280
- amoníaco, 204
- ángulos de iluminación, 278
- Angström, 72
- ángulo visual, 161-163, 223, 224
- anión dicromato, 202
- anomalías visión del color, 21, 100, 277

anómalo tricromático, 100
 área de punto, 171, 369
 Artes Gráficas, 21, 24, 67, 135, 137, 154,
 194, 220
 asimilación, Fenómeno de, 62, 63
 azul de ftalocianina, 207, 331

B

bacterias, 198, 208
 bactericidas, 195, 208, 209
 barniz, 36, 55, 56, 258, 297
 de retoques, 36, 57, 258, 269, 272,
 297
 final, 262
 bastones, 93-95, 98, 100
 Bezold, Efecto de difusión, 62
 bisulfito,
 sódico, 250
 potásico, 250
 Biuret, Test de, 198
 bloom, 200, 211
 bórax, 192
 bruñidor, 259, 294

C

cadena polipeptídica, 196, 199
 cámara fotográfica, 91-93
 campos receptores de la retina, 62
 candela, 77, 106
 carboximetilcelulosa, 198
 célula,
 bipolar, 93, 94
 ganglionar, 93, 94
 células fotorreceptoras, 92-95, 98, 110,
 135, 280
 cera microcristalina, 252, 379, 380
 cerebro, 69, 91-95, 97, 98, 106, 145-147,
 154
 CIE, 76, 78, 90, 108-110, 112-115, 124,
 134, 233, 278, 281
 CIELAB, 281-283, 285
 cola de conejo, 193, 257
 coloides:
 dicromatados, 194, 248
 de origen animal, 193, 196
 albúmina, 193
 gelatina, 193, 194, 196-204, 206,
 208-213, 215, 234, 248-251, 295,
 331-333, 335, 336, 339, 342, 344,
 346-353, 356, 357, 360, 363, 365,
 367, 370, 371, 373-377, 379

de origen vegetal, 193, 196
 goma arábica, 55, 193, 196, 252,
 377, 378, 380
 de origen sintético, 193, 196
 alcohol de polivinilo, 56, 193, 196
 colorantes, 109
 color,
 Acromático, 58, 88, 95, 97, 100, 111,
 126, 130-132, 139, 142, 144, 153,
 170, 176, 178, 179
 Anomalías en la visión del, 21, 100,
 277
 Cuerpos de, 104, 114
 Diferencias de, 99, 115
 Estímulos de, 69, 89-91, 100, 101,
 115
 Espacios de, 109, 112
 Filtro de, 86, 127, 130-134, 137, 138,
 141, 144, 145, 150, 241, 242, 359,
 360, 362, 364
 Fotografía en, 21, 24, 112, 117, 119,
 120, 135, 137, 138, 141, 193
 Identificación del, 276, 280, 286
 Interacción del, 43, 44, 52
 Luces de, 109, 113, 114, 121-124
 Matiz de, 131
 Métrica del, 107, 116
 Percepción del, 99, 119, 142, 157, 323
 Porcentaje de área de, 158, 160, 168
 primarias, Luces de, 122-124
 promedio, Mezcla de, 62, 135
 Reproducción del, 24, 25, 67, 69, 75,
 77, 91, 110, 112, 115-120, 135-
 141, 145, 148, 149, 151, 154, 156,
 158, 171, 173, 182, 218-220, 242,
 252, 270, 287, 320, 323, 326
 Sensación de, 58, 68, 69, 97, 98, 101,
 104, 107, 115, 117, 119, 122, 130,
 139, 142, 146, 147, 153, 167, 177,
 178, 277
 Sistemas tricromáticos de repro-
 ducción del, 112
 Temperatura de, 59, 60, 75, 76, 78,
 278
 Teoría del, 21, 25, 60, 68, 69, 182
 Velo de, 209
 colores,
 base sustractivos, 128, 130, 131, 134,
 135, 137, 138, 141-144, 148, 153,
 187
 complementarios, 64, 132
 elementales aditivos, 123
 metámeros, 60

sucios o turbios, 58, 106
 colorimetría, 281
 colorímetro, 112, 282, 323, 326
 CMC, 284, 285
 comparación visual, 20, 276-281, 286
 composición espectral, 73, 74, 89, 90, 109, 115, 139
 conos, 93-98, 100, 101, 113, 115, 118, 119, 122, 127-129, 161
 conservación arqueológica, 39
 contraste, 45, 162, 204, 205, 207, 236, 238-240, 345, 352
 alto, 189, 205, 210, 220, 331, 354
 invertido, 62
 simultáneo, 44, 47, 62-64
 coordenadas cromáticas, 63, 113
 córnea, 91, 92
 cristalino, 91, 92, 161
 criterios de reintegración, 22, 31, 116, 169, 190
cuantos, 70
 cuerpos,
 de color, 104, 114, 121, 125-128, 130, 131, 134
 luminosos, 79
 no luminosos, 79
 negro, 75, 76, 80
 blanco, 80, 140
 opacos, 86, 127, 128, 130, 131, 134
 transparentes, 86, 127, 128, 130, 131
 curva,
 característica, 237-240
 Talón o pie de la, 237, 238
 Línea recta de la, 237, 238
 Hombro de la, 237, 238
 de absorción espectral, 107, 108, 242-244
 de distribución espectral, 75, 90, 117
 espectral, 90, 137
 espectral de reflectancia, 90, 117, 118, 136
 espectral de transmitancia, 90, 117, 118, 136
 espectrofotométrica, 113, 116
D
 daltonismo, 100
 densidad, 81, 94, 150, 151, 154, 235-238, 240-242, 246, 360-362, 364-366
 neutral equivalente, 236
 densitometría, 169

densitométricas, medidas, 241, 312, 320, 359, 360, 362, 364
 densitómetro, 167, 169, 238
 diagrama cromático, 113, 114, 124, 125
 dicromatada, Gelatina, 194, 331
 dicromato de,
 amonio, 201-206, 210, 211, 331
 sodio, 201
 piridina, 205
 potasio, 201, 205
 quinoleína, 205
 diferencias de color, 99, 115, 277, 281, 283-285
 difracción, 77, 88, 89, 232
 difusión, Fenómeno, 61, 83
 dimetil quinacridona, 207, 363
 diseño de puntos, 154-160, 162-169, 171, 173, 176, 218, 224, 271, 274, 289, 294, 296, 312, 315
 disolventes, 368
 orgánicos, 55, 199
 dispersión de la luz, 73, 77, 83-85, 87, 88, 148-151, 163
 distribución de los puntos, 164, 165, 169, 174, 217, 292
Dye transfer, 234

E
 electrolitos, 198, 199
 energía, 70, 74, 76, 86, 95, 233, 235
 radiante, 69-72, 140
 emulsión, 181, 190-194, 196, 200, 204-207, 209-211, 213, 220, 234-244, 247-251, 330-342, 344-346, 348, 350, 351, 353-355, 357-360, 362-365, 367, 370, 371, 374, 377, 379
 emulsionado, 214, 215, 230, 231, 235, 248, 329-341, 343, 345-359, 361-367, 370, 372, 374, 378-380
 emulsión fotosensible, 25, 188-191, 193, 194, 200, 203, 205-210, 216, 232-237, 249, 308, 320
 enzimática, Solución, 251, 374
 error de tono, 244-246
 error de gris o pureza, 245, 246
 escala monocromática, 170
 espacio entre los puntos, 158, 159, 167
 espacio de color, 109, 112, 120, 127, 281, 283

espectro, 69, 72, 73, 77, 86, 96, 97, 101, 105, 118, 119, 123-125, 129, 140-142, 145, 152, 220
 continuo, 59, 60, 75, 118, 152
 de líneas, (Véase *espectro discontinuo*)
 discontinuo, 59, 75, 76, 114
 electromagnético, 72, 112, 124, 125, 127, 128, 152
 equienergético, 73, 118, 132, 139, 141, 154
 visible, 72-75, 90, 96, 105, 107, 113, 122, 134, 140, 142, 233, 242
 espectrofotómetros, 113, 282, 323, 326
 espesantes artificiales, 198
 estímulos, 69, 92-94, 102, 104, 113, 118, 120, 122, 123, 129, 168
 de color, 63, 69, 89-91, 100, 101, 115, 117, 135, 323
 cromáticos, (Véase *estímulos de color*)
 luminosos, 92-94, 104, 107, 119, 121, 124, 168
 luminosos primarios, 119
 estructura del diseño de puntos, 160, 164
 estructura de los FTT, 188
 estucado de lagunas, 36, 185
 estuco, 36, 46, 58, 140, 222, 257, 258, 265, 269, 270, 292, 313, 314, 321, 324
 exposición, 188, 190, 191, 194, 201, 202, 205, 210, 216, 230-234, 236-238, 240, 241, 247, 248, 320, 329-343, 345-348, 350-357, 359-367, 370, 372, 374, 378, 380

F

falsificación, 38, 39, 41, 50, 116
 artística, 38, 39
 histórica, 38, 39
 fenol, 208, 211, 212, 257, 331, 332, 334-336, 339, 343, 346, 348, 350, 351, 353, 356, 357, 360, 363, 365, 367, 370, 371, 374, 378, 379
 figura-fondo, 33
 filtro de color, 86, 127, 130-134, 137, 138, 141, 144, 145, 150, 241, 242, 359, 360, 362, 364
 fluorescencia, 140
 fondo tramado, 187, 216, 320
 fondos tramados transferibles (FTT), 25-27, 179-181, 185-188, 190, 191, 206, 216-219, 221-225, 229, 250-

259, 265, 270, 271, 274, 287-289, 294-298, 302, 307-310, 312-315, 319-322, 324, 329, 330
 forma de los puntos, 157, 216
 fotografía en color, 21, 24, 112, 117, 119, 120, 135, 137, 138, 141, 193
 fotómetro, 235
 fotomecánicos, Medios, 27, 180, 181, 186, 219, 220, 229, 308, 309, 319, 320
 fotones, 70, 79, 83, 86
 FTT (fondos tramados transferibles), 25-27, 179-181, 185-188, 190, 191, 206, 216-219, 221-225, 229, 250-259, 265, 270, 271, 274, 287-289, 294-298, 302, 307-310, 312-315, 319-322, 324, 329, 330
 Imagen de los, 206, 221, 252, 287, 289, 296, 313, 314
 Obtención de los, 180, 181, 186, 190, 215, 225, 230, 307-309, 320
 Soporte de los, 181, 294, 376
 Transferencia de los, 180, 258, 259, 264, 287-291, 294, 313, 330, 331
 fovea, 93, 94, 280
 frecuencia (ν), 70, 71, 73, 74
 fuentes, 69, 76-78, 112, 116
 de luz, 75, 77, 233
 de luz artificial, 77

G

gamma, valor, 238-240
 gelatina dicromatada, 194, 331
 gelatina, 193, 194, 196-204, 206, 208-213, 215, 234, 248-251, 295, 331-333, 335, 336, 339, 342, 344, 346-353, 356, 357, 360, 363, 365, 367, 370, 371, 373-377, 379
 Gestalt, 33, 156
 glicerina, 209, 211, 212, 252, 331, 332, 334-336, 339, 343, 346, 348, 350, 351, 353, 356, 357, 360, 363, 365, 367, 370, 371, 374, 377-380
 glicerol, 199
 goma arábica, 55, 193, 196, 252, 377, 378, 380
 gomas vegetales, 55

H

halo, 235
 haluros de plata, 93, 192, 193
 Helmholtz, Hermann von, 96

Hering, Teoría de, 97
 Hicethier, Cubo de, 109-111
 hidrólisis, 197, 199, 251, 376
 hidroquinona, 192
 hidróxido crómico, 202
 humor acuoso, 91, 92
 humor vítreo, 92

I

identificación del color, 276, 280, 286
 igualación cromática, 36, 116, 117, 270, 292, 310, 326
 igualación cromática condicional, 116, 117, 270
 iluminación, 59, 60, 62, 68, 74, 78, 89, 90, 95, 98, 99, 110, 112, 116, 117, 161, 162, 233, 235, 236, 271, 278
 Ángulos de, 278
 normalizada, 59
 Sistema de, 282
 iluminante CIE, 59, 76, 78, 278
 impresionistas, 47, 61, 67
 imprimación, 31, 42
 inclinación, 171-175, 177, 217-219, 221, 225, 228, 229, 254-256, 263, 288, 314, 315
 índice de refracción, 57, 82-85
 insolubilización, 199, 201-204, 215, 234, 247, 337, 338, 341, 346
 interacción, 79, 325
 del color, 43, 44, 52, 280
 luz-materia, 70, 78, 104, 112, 133
 intensidad luminosa, 33, 71, 75, 77, 98
 iris, 91, 92

K

Küppers, Romboedro de, 109

L

laguna, 20, 22, 23, 31-40, 42-44, 47, 49, 50, 52, 53, 63, 115, 140, 179, 189, 257, 258, 269-272, 276, 286-292, 294-296, 298-303, 310, 313-315, 321, 324
 lámpara de,
 incandescencia, 73, 77
 filamento de tungsteno, 60, 77, 78
 descarga eléctrica, 77
 tungsteno-halógeno, 77
 láser, 219, 220
 Lefranc & Bourgeois, 258

ley,

 de Beer, 87, 133, 338
 de Lambert, 87, 133, 338

leyes de mezcla cromática, 25, 48, 61, 120, 121, 136, 323

lineatura, 159, 160, 163, 164, 166-168, 171, 172, 177, 217, 218, 221-225, 228, 229, 254-256, 261, 265, 271, 274, 276, 297, 298, 302, 310, 312, 313, 320-322, 324

longitud de onda, 70-75, 82, 84-86, 88, 90, 96, 97, 101, 104, 105, 125, 132-134, 148, 194, 238

luces,

 de color, 109, 113, 114, 121-124
 de color primarias, 122-124

luminancia, 106, 140, 162

luminosidad, 33, 46, 49, 58, 62, 95, 104-106, 109, 110, 122, 123, 136, 283-285

luz,

 actínica, 181, 194, 230, 231, 233, 237, 247

 artificial, Fuentes de, 77

 binaria, 124

 blanca, 73, 75, 82, 83, 106, 112, 118, 123-126, 128, 130, 132, 142, 145-147, 152, 178

 colores, 109, 113, 114, 121-124

 complementaria, 124-126, 241

 de seguridad, 230

 dispersión de la, 77, 84, 87, 148-151, 163

 emitida, Naturaleza de la, 75

 Fuentes de, 69, 75, 77, 233

 monocromática, 86, 97, 133

 negra, 233

 ultravioleta, 41, 205, 233, 336-341, 354-356, 358, 361, 363, 365, 367, 370, 372, 374, 378, 380

 Velocidad de propagación de la, 71, 74, 82

 visible, 78, 84, 95

M

maireri, 296, 297

Maxwell, 118

matiz, 33

 de color, 131

medio tono, Puntos de, 137, 153, 154, 156, 157, 163, 209, 216-218, 223, 323
 metacrilato, 57, 214, 215, 230, 257, 367, 369
 metamerismo, 60, 117, 278
 metámeros, Colores, 60
 métrica del color, 107, 116
 mezcla,
 aditiva, 67, 109, 113, 121-123, 126, 127, 130, 136, 143, 152, 167, 177
 de color, 25, 42, 135
 de color por promedio, 62, 135, 136
 espacial, 61
 mixta, 136
 cromática, Leyes de, 25, 48, 61, 120, 121, 136, 323
 óptica, 53, 61, 63, 67, 121, 135, 136, 177
 partitiva, 136
 sustractiva, 61, 67, 121, 125-127, 130-135, 139, 141, 142, 144, 145, 149-151, 177, 292
 sustractiva compleja, 61
 visual, 45
 micelas, 195
 microorganismos, 55
 miel de caña, 257
 milimicrones, 72, 195
 molecular, Estructura, 79, 92
 Molisch, Test, 198
 monocromática, Luz, 86, 97, 133
 montaje, 230-234, 247, 320, 337-341, 345, 354, 355, 357, 358
 muaré, 172, 173, 289, 315
 Munsell, Sistema, 109

N

nanómetro, 72
 naturaleza luz emitida, 75
 negativo tramado, 190, 216-219, 221, 225-230, 232, 233, 235, 236, 240, 247, 320, 329, 336, 337, 339, 341, 343, 345, 347, 348, 350, 351, 353, 354, 357, 359-367, 370, 372, 374, 378, 380
 nervio óptico, 94
 Newton, 69, 73
 Anillos de, 235

O

observador, 34, 43, 61, 67-70, 74, 99, 100, 104, 107, 109, 112, 113, 116, 117, 136-139, 142, 143, 161, 168, 173, 178, 223, 278-280, 282
 ondas hertzianas, 72
 opacidad, 133, 149-151, 288
 opaco, Material, 85
 óptica, Mezcla, 53, 61, 63, 67, 121, 135, 136, 177
 órgano visual, 67-70, 72, 86, 87, 89, 90, 98, 100, 104, 105, 110-112, 117, 119, 120, 122, 126, 136, 160, 173
 orientación de los puntos, 165, 173
 ortocromático, 220
 Ostwald, Sistema, 109
 óxido,
 crómico, 202, 204
 de cromo, 206

P

Paisaje, 271, 272, 274, 297-301, 313
 pancromáticas, 220
 papaina, 251, 375
 parafinado, Papel, 252
 pasados tramados, 216
 película fotosensible, 189, 215, 230, 320, 331
 perborato de sodio, 206
 percepción del color, 99, 119, 142, 157, 323
 peso molecular, 197, 200, 371
 pH, 196-200, 203, 204
 pigmentos, 54, 55, 58, 59, 85, 86, 114, 116, 117, 125, 126, 134, 137, 141, 145, 148-150, 170, 171, 180, 181, 206, 207, 236, 240, 270, 288, 289, 297, 308, 313, 359, 360, 362, 364
 fotosensibles, 95
 sintéticos orgánicos, 207
 pigmentarios, Procedimientos, 194
 pintura,
 de caballete, 27, 223, 311
 mural, 27, 55, 223, 311
 plastificantes, 195, 209, 345, 351
 poder separador del ojo, 160-163
 Poitevin, Alphonse Louis, 206
 Poliactato de vinilo, 56
 policarbonato, 214, 257
 poliéster, Soporte de, 189, 190, 209, 213-215, 286, 314, 331-336, 339, 342,

346, 348, 349, 351, 353, 355, 357,
360, 363, 365, 367, 369, 371, 374,
377, 379
polimerización, 201
polipeptídicas, Cadenas, 196, 199
porcentaje de punto, 160, 166, 167, 170-
172, 177, 178, 187, 217, 218, 226-
229, 252-256, 261, 263, 286, 289-
291, 311, 321, 338, 343, 344, 352,
359, 360, 380
porcentaje de área de color, 158, 160,
165, 168
primarios, 105, 119, 120, 123
aditivos, 123
generativos, 123
sustractivos, 127
procesado, 91, 181, 189, 190, 196, 203,
237, 247, 330-337, 340, 342, 343,
346, 347, 349, 350, 352, 353, 356,
358, 361, 363, 366, 367, 370, 372,
374, 378, 380
propilenglicol, 199
puntillismo, 20, 45, 47, 48, 58, 68, 135,
223, 325
punto isoelectrico, 196, 197, 200
puntos de medio tono, 137, 153, 154,
156, 157, 163, 209, 216-218, 223,
323
Distribución de los, 164, 165, 169,
174, 217, 292
Espaciado entre, 158, 159, 167
Forma de los, 157, 216
Lineatura de los, 159, 160, 163, 164,
166-168, 171, 172, 177, 217, 218,
221-225, 228, 229, 254-256, 261,
265, 271, 274, 276, 297, 298, 302,
310, 312, 313, 320-322, 324
Orientación de los, 165, 173
Tamaño de los, 158

Q

quinacridona, Dimetil, 207, 363

R

radiación,
azul, 128, 140, 142, 144, 152, 177,
178
electromagnética, 69, 70
roja, 128, 142, 144, 152, 168, 177,
178
verde, 128, 144, 152, 177, 178
visible, 72, 75, 121

radiadores térmicos sólidos, 77
rayos,
gamma, 72
luminosos, 69, 88, 89, 104
ultravioleta, 78
reacción en la oscuridad, 204, 215
reflectancia, 60, 90, 113, 117, 118, 136,
168, 280
reflexión, 77, 80, 90, 105, 113, 121, 128,
133, 137-140, 150, 151, 244, 358
difusa, 80, 81
especular, 80, 81, 279
refracción, 81-85, 152
RGB, 112
reintegración, 19-25, 27, 31, 35-64, 67,
68, 91, 112, 115, 116, 118, 138,
140, 141, 145, 149, 170
Criterios de, 22, 31, 116, 169, 190
ilusionista, 41, 42, 53
integral, 41
invisible, 22, 41, 42, 53
Técnicas de, 21, 40, 41, 45, 61
visible, 22, 42, 43, 68
rendimiento cromático, 59, 60, 74, 78
reproducción del color, 24, 25, 67, 69, 75,
77, 91, 110, 112, 115-120, 135-
141, 145, 148, 149, 151, 154, 156,
158, 171, 173, 182, 218-220, 242,
252, 270, 287, 320, 323, 326
resinas,
acrílicas, 56, 57
cetónicas, 57
de poliacetato de vinilo, 56
de policiclohexanona, 56
terpénicas, 56
revelado, 192, 230, 234, 236, 247-250,
295, 320, 337, 340, 341, 346, 354,
355
Agitación del, 250, 337, 340
Agotamiento del, 250
Temperatura de, 248, 249, 337, 340
Tiempo de, 248, 249, 337, 340
resolución, 33, 62, 94, 135, 160-163, 173,
180, 220, 223, 312, 324
restauración, 19, 22, 24, 26, 27, 35-38,
41, 49, 53, 56, 64, 193, 195, 196,
258, 309, 379
arqueológica, 43
Teoría de la, 37, 45
retina, 45, 61, 62, 69, 70, 81, 91-96, 98,
100, 121, 122, 127, 135, 161, 280
retoque, 37

reversibilidad, 37, 53-56, 191, 197, 297
rigattino, 45, 58, 68, 325
 rosetas, 174-176
Rowney, 208, 360

S

sacarosa, 209, 211, 212, 331-333, 335, 336, 339, 342, 346, 348, 350, 351, 353, 356, 357, 360, 363, 365, 367, 370, 371, 374, 377, 379
 saturación, 25, 104-106, 109, 110, 114, 140, 152-154, 156, 157, 167-171, 177, 178, 210, 218, 283-285, 312
 selección cromática, 49-53, 58, 325
 sensación,
 cromática, 69, 107, 115, 118, 136
 de color, 58, 68, 69, 97, 98, 101, 104, 107, 115, 117, 119, 122, 130, 139, 142, 146, 147, 153, 167, 177, 178, 277
 sensibilidad, 92, 95, 191, 201, 203-205, 233, 237, 283, 334
 cromática, 101-103, 193, 220
 espectral del ojo, 72, 92, 95, 96-99, 101-103, 115-120, 122, 128, 142
 sensibilizador, 193-195, 201, 205, 206, 209-213, 345
 sensibilizadores rápidos, 205
 serigráficos, 180, 181, 186, 308, 309, 320
 SIRECRAMT, 22-24, 27, 67, 68, 91, 109, 115-121, 135-139, 141, 153, 154, 157, 167, 180-182, 186, 219, 307, 309, 311, 315, 319-325
 sistemas tricromáticos de reproducción del color, 112
 sólido de color, (Véase *espacio de color*)
 solubilidad de la gelatina, 197, 199, 206, 248
 solución coloidal, 194
 soluciones acuosas, 197-199, 208
 sorbitol, 199
 sulfato,
 cálcico, 257
 de zinc, 208
 suspensiones, 148
 sustractiva, Mezcla, 61, 67, 121, 125-127, 130-135, 139, 141, 142, 144, 145, 149-151, 177, 292

T

tablas cromáticas, 25-27, 181, 185, 186, 225-227, 252-255, 257, 258, 260-265, 270, 274, 276-280, 282, 285-288, 296, 297, 307, 309-311, 315, 319, 321, 322, 324, 325
thalo blue, 331
Talens, 207, 363
 tamaño de los puntos, 158
 técnicas de reintegración, 21, 40, 41, 45, 61
 técnica pictórica, 54, 55
 temperatura,
 de color, 59, 60, 75, 76, 78, 278
 de transición vítrea, 371
 temple al huevo, 55, 56
 teoría,
 corpúscular, 70
 del color, 21, 25, 60, 68, 69, 182
 de los procesos opuestos, 97
 fisiológica, 62
 ondulatoria, 70
 tinta neutra, 43, 45, 62, 63
 tintes, 134, 148, 149, 206
 tonalidad, 42, 58, 62, 105, 144, 158, 235, 282, 283, 312
 tono, 21, 36, 42-47, 62, 64, 74, 86, 98, 100, 104-106, 108-110, 136, 140, 153, 154, 158, 163, 164, 167, 168, 173, 262, 264, 283-285
 continuo, 154
 Error de, 244-246
 neutro, 43, 44, 52
 trama de contacto, 220
 transmisión, 82, 83, 95, 107, 113, 121, 125, 128, 130, 133, 148-151, 288, 289
 translúcido, Material, 85, 149
 transmitancia, 86, 90, 113, 133, 134
 transparente, Material, 83, 85, 86, 90, 137, 148, 180, 294, 336, 340
tratteggio, 20, 45-49, 58, 325
 tricromía, 23, 67, 135, 137, 141, 144, 173, 182, 296, 312, 322, 324
 lámparas fluorescentes, 60, 78

U

ultravioleta, Luz, 41, 205, 233, 336-341, 354-356, 358, 361, 363, 365, 367, 370, 372, 374, 378, 380
 umbral absoluto, 98

umbral cromático, 98

V

valencias primarias, 113

valor,

gamma, 238-240

valores,

acromáticos, 144, 178, 179

cromáticos, 177, 178

triestímulo, 112, 113, 134, 281

veladuras, 20, 42, 45, 49, 57, 58, 61, 296, 313, 354

velo de color, 209

velocidad de propagación, 71, 74, 82

vibración cromática, 51, 53, 58, 288, 312, 324

viscosidad, 55, 197-199

visión,

de color, Anomalías en la, 21, 100

escotópica o crepuscular, 98, 99

fotópica o diurna, 98, 99

Visitación de la Virgen, 271, 273, 274, 290, 297, 302, 303, 313

volatilidad, 55

W

Winsor & Newton, 207

X

xantoproteica, Reacción, 198

Y

yellow permanent, 208, 360

Young - Helmholtz, Teoría de, 96, 97

Young, Thomas, 96